

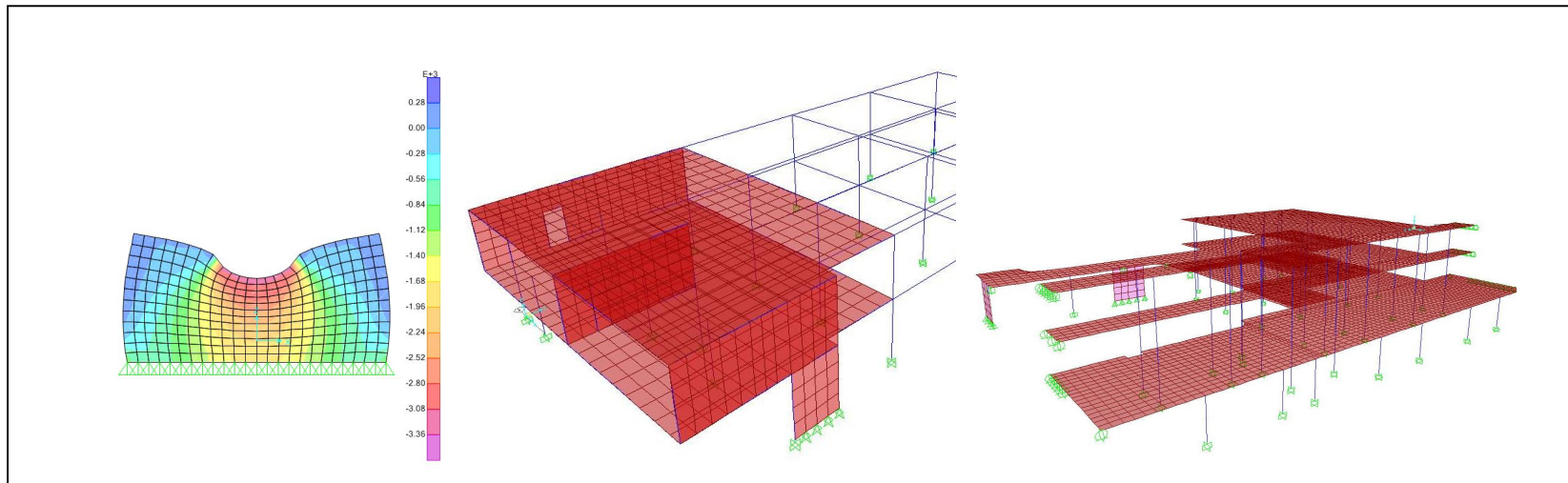
CURSO PARA MANEJO DEL SOFTWARE SAP2000 Advanced versión 15.1.0

MASTER EN ESTRUCTURAS DE LOS EDIFICIOS Y SU REHABILITACIÓN.
EUATM-UPM

Profesor: Sergio Rodríguez Morales
Dpto. de Estructuras de Edificación de SSTT de FCC Construcción

Correo electrónico: srodriguezmfcc.es

UNIDAD 1. Introducción al programa y Generación de modelos estructurales simples.





OBJETIVOS DE LA CLASE DE HOY:

En la unidad didáctica que hoy desarrollaremos se pretenden dos objetivos

A) Introducción a los programas de cálculo de estructuras como herramienta.

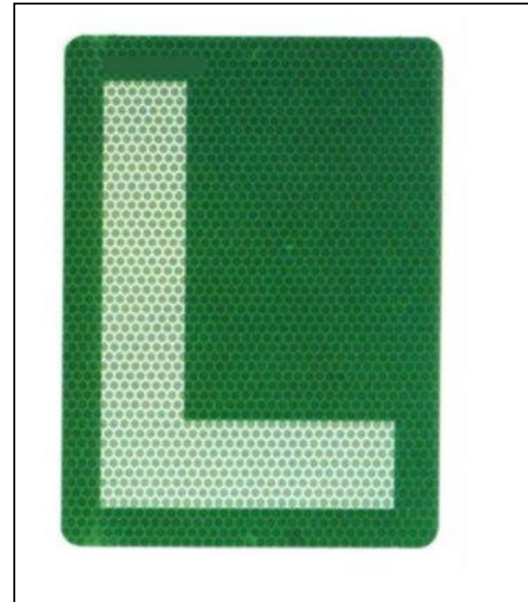
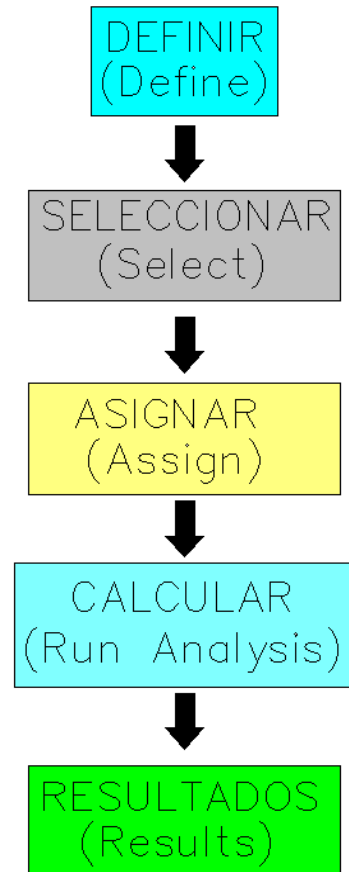
- Posición del programa frente a otros paquetes empleados en el ámbito de la edificación.
- Ventajas y posibilidades del programa SAP2000.
- Ejemplos de aplicación.

B) Introducción al manejo del programa.

- Introducción de modelos estructurales en el programa: Plantillas, ficheros DXF, herramientas de CAD o ficheros Excel.
- Definición de secciones, materiales, hipótesis de carga, combinaciones y asignación de cargas.
- Visualización de resultados, obtención de reacciones, leyes de esfuerzos y deformadas.
- Realización de modelos simples de barras y comparación de resultados con cálculos manuales.



Todo técnico novel en el programa debe seguir siempre el mismo procedimiento:



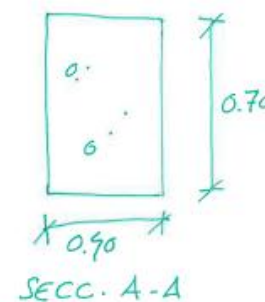
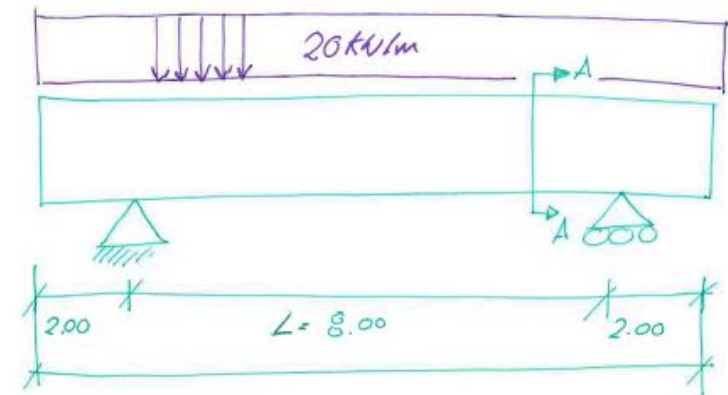
Una vez aprendido el proceso el manejo básico del programa es muy sencillo. Vamos a desarrollar estos mediante un sencillo ejemplo.



B.1 Estructura 1. Modelización de viga simplemente apoyada mediante la orden New model (Selection template)

En el modelo estructural a introducir en el programa tendrá las siguientes características y propiedades, se requiere obtener los siguientes resultados:

- 1) Obtención de reacciones en los apoyos.
- 2) Obtención de valores máximos de esfuerzos a flexión y a cortante de la viga. Representación de diagramas de las leyes indicando dichos valores numéricos.
- 3) Obtener máxima deformación debida a la flexión en la viga tanto en magnitud como en posición

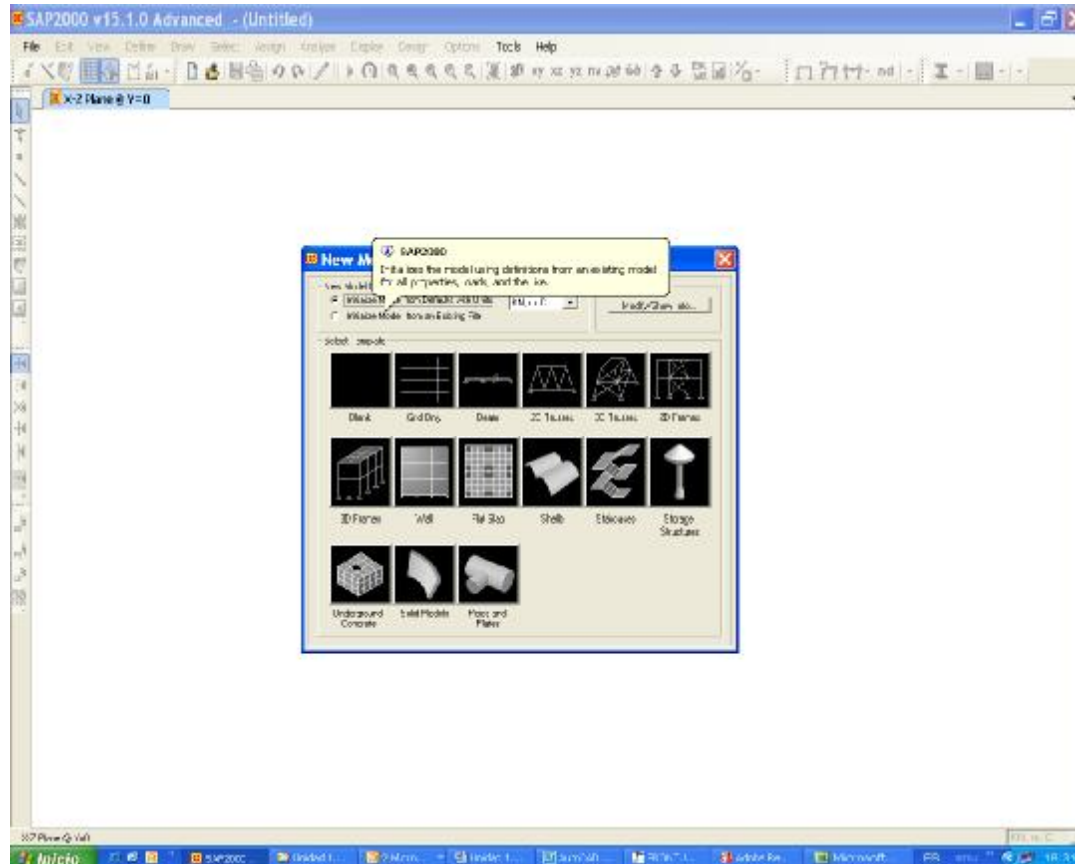


- HORMIGÓN $f_{ct} = 30 \text{ MPa}$
- ACERO B-500-S
- $V_c = 25 \text{ kN/m}^2$



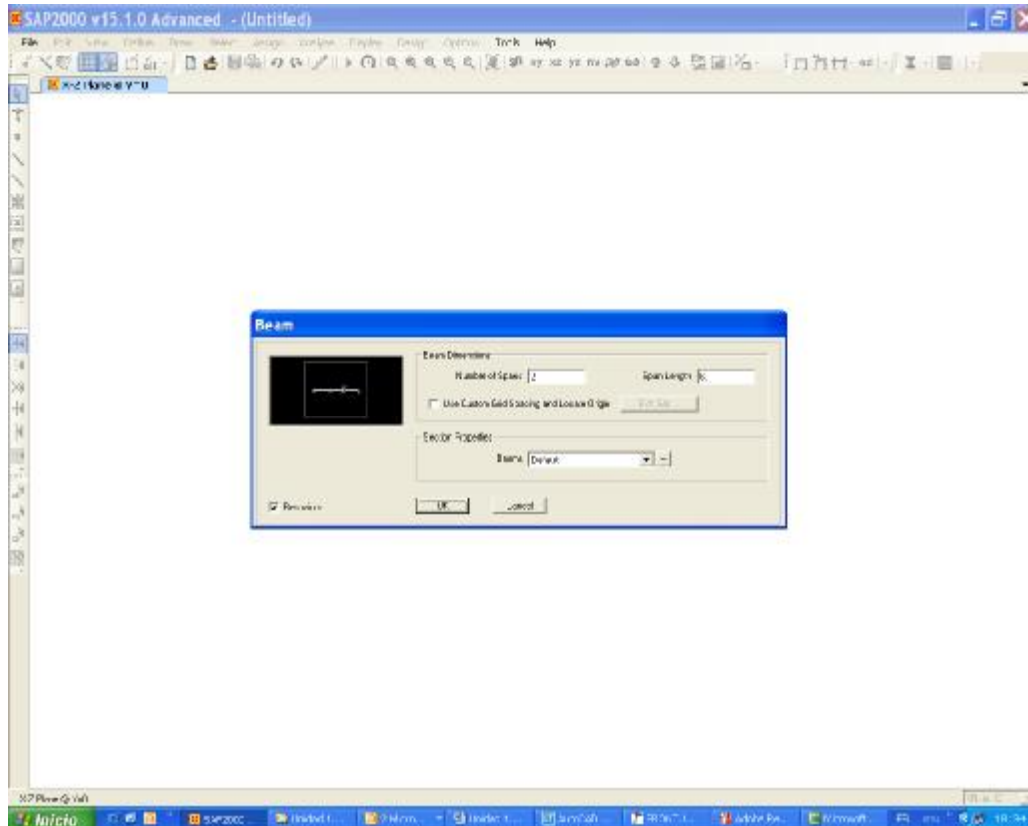
B.1.1) Definición de modelo mediante plantilla:

Tras acceder por medio del menú desplegable *File/New Model*, optaremos por la opción **BEAM** (viga)





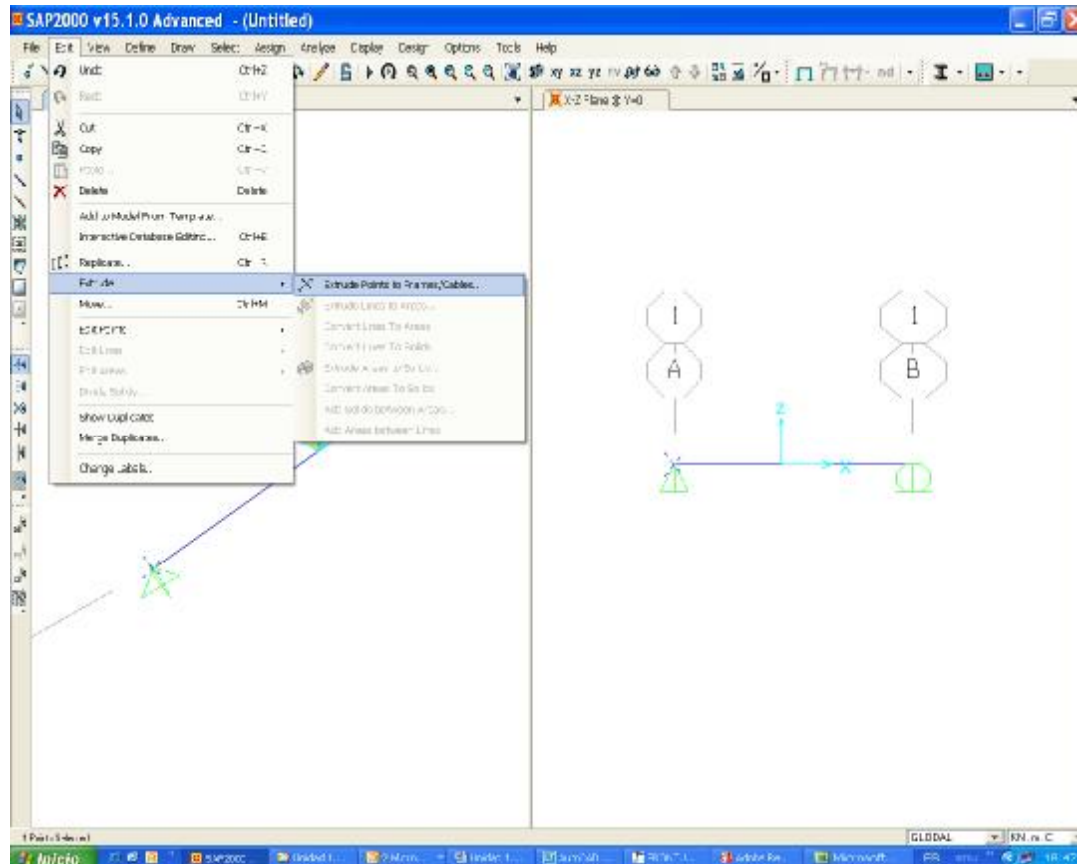
La plantilla nos pide definir ¿cuántos vanos tiene la viga (SPAMS) y cuánto es la longitud del vano (LENGTH)? En nuestro caso tenemos una viga de un solo vano con una luz de 8.00 metros.



Una vez aceptada la entrada de datos se procederá a completar el modelo incluyendo en los extremos de la viga los voladizos. Varias son los procedimientos para realizar esta operación. En esta ocasión usaremos la

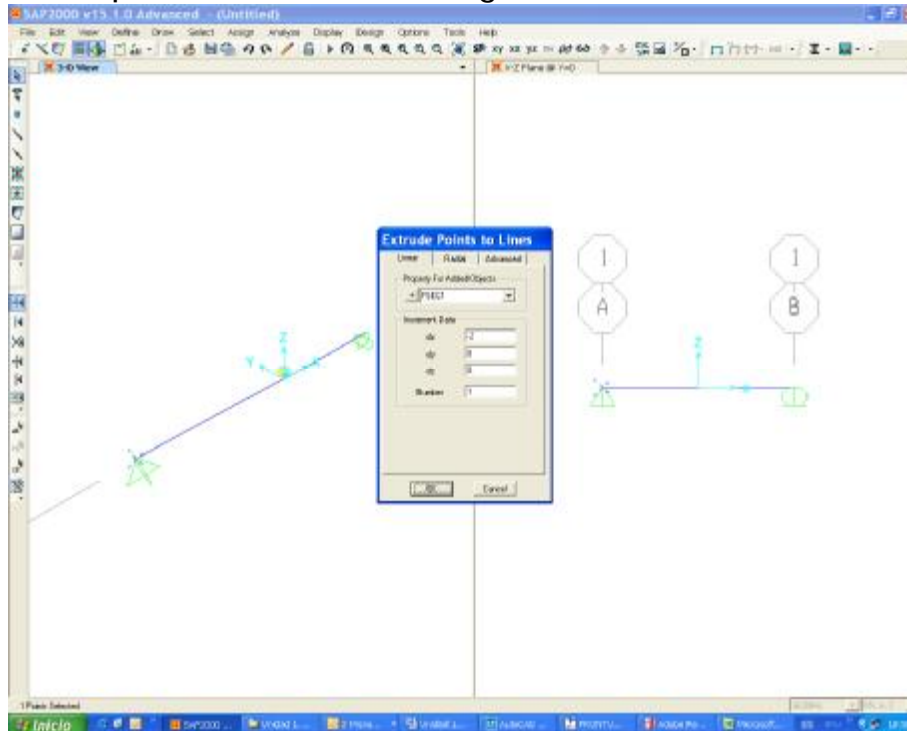


orden EXTRUDE POINTS TO FRAME (Extruir). Para ello es necesario haber seleccionado previamente el nudo del cual queremos “extruir” una barra. Los nudos se seleccionan pinchando con el botón izquierdo del ratón el objeto seleccionado.





Para generar la barra desde el nudo seleccionado será necesario definir la longitud de la misma. Una vez pulsada la opción tendremos el siguiente cuadro de entrada de datos:

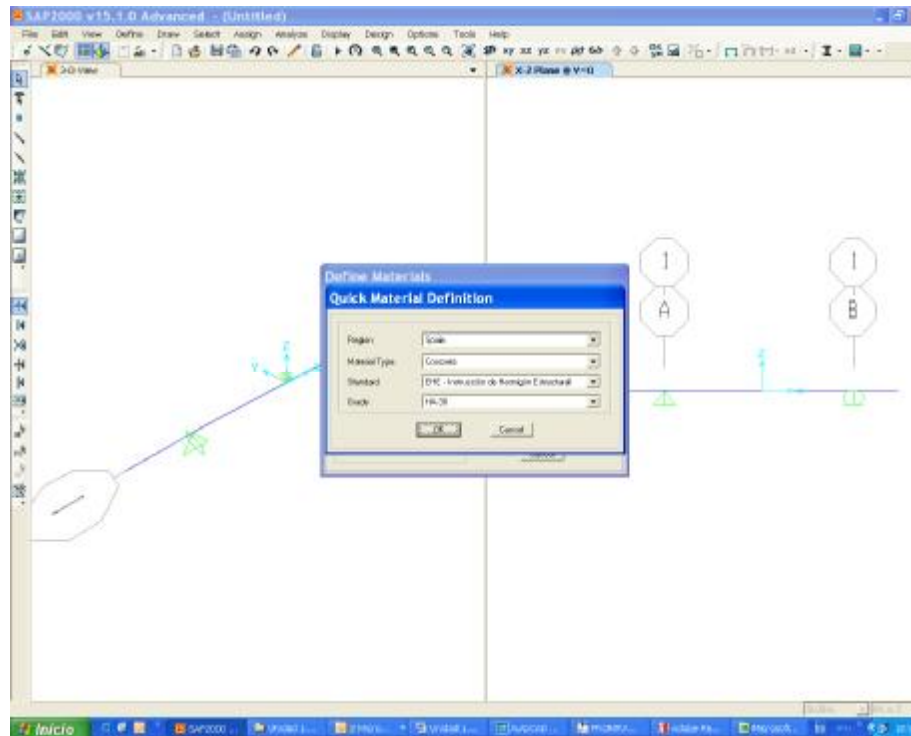


Un nuestro caso solo generaremos un elemento, de longitud -2.00 metros hacia dirección X. Para el otro voladizo actuaremos de forma simétrica.



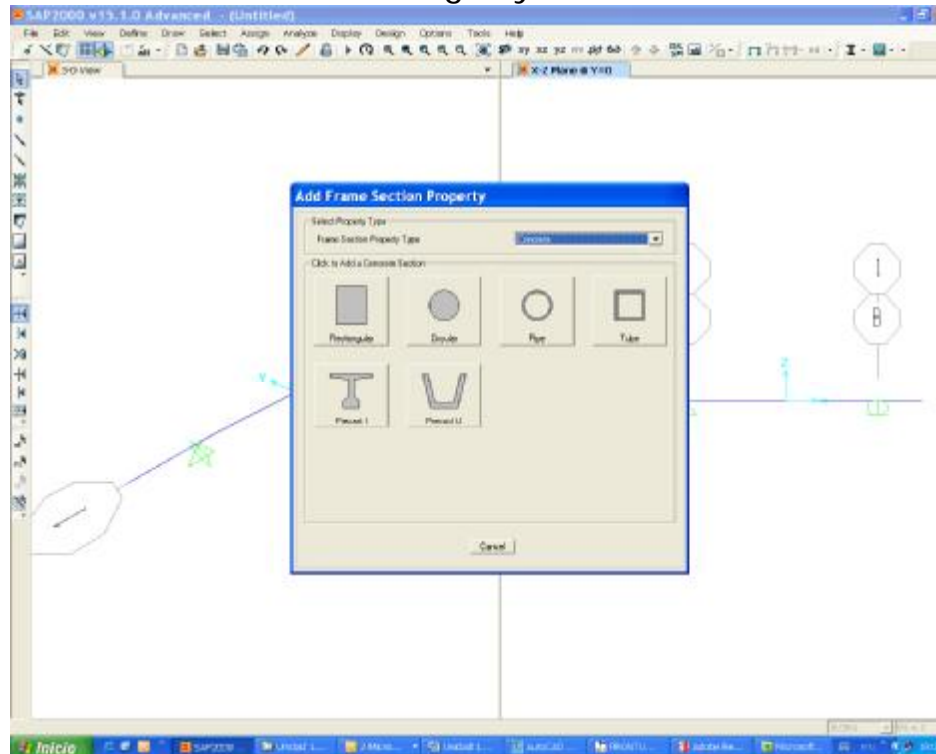
B.1.2) Definición de materiales, secciones e hipótesis de carga:

Una vez terminada la geometría se pasará a definir el material que emplearemos, en este caso un hormigón con un $f_{ck}=30$ MPa de acuerdo a la normativa española. Para ello emplearemos los comandos que encontraremos en el menú desplegable [DEFI NE/Materials/Add New material:](#)



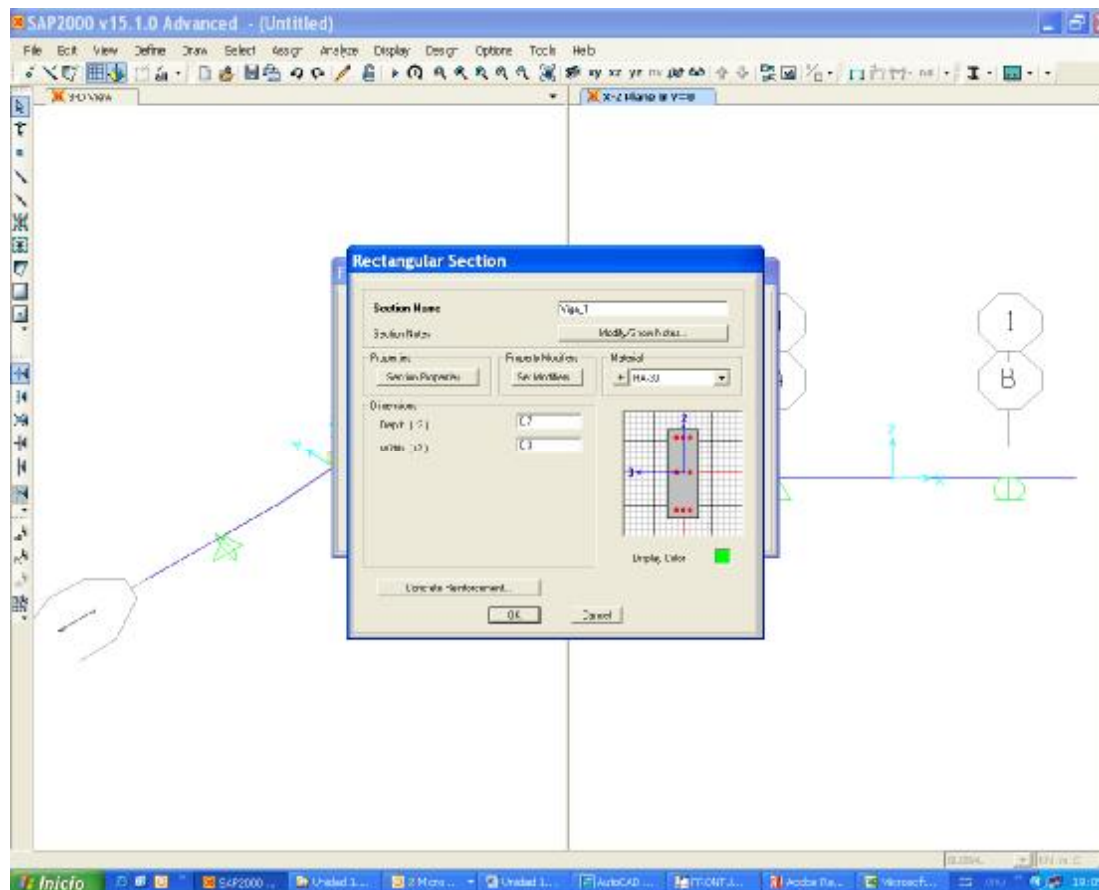


En el caso que nos ocupa la viga de hormigón es de sección 70x40. Procederemos con los siguientes comandos, [DEFINE/Section Properties/Frame sections/Add new property](#). En nuestro caso la estructura es de hormigón y la sección a definir es rectangular.



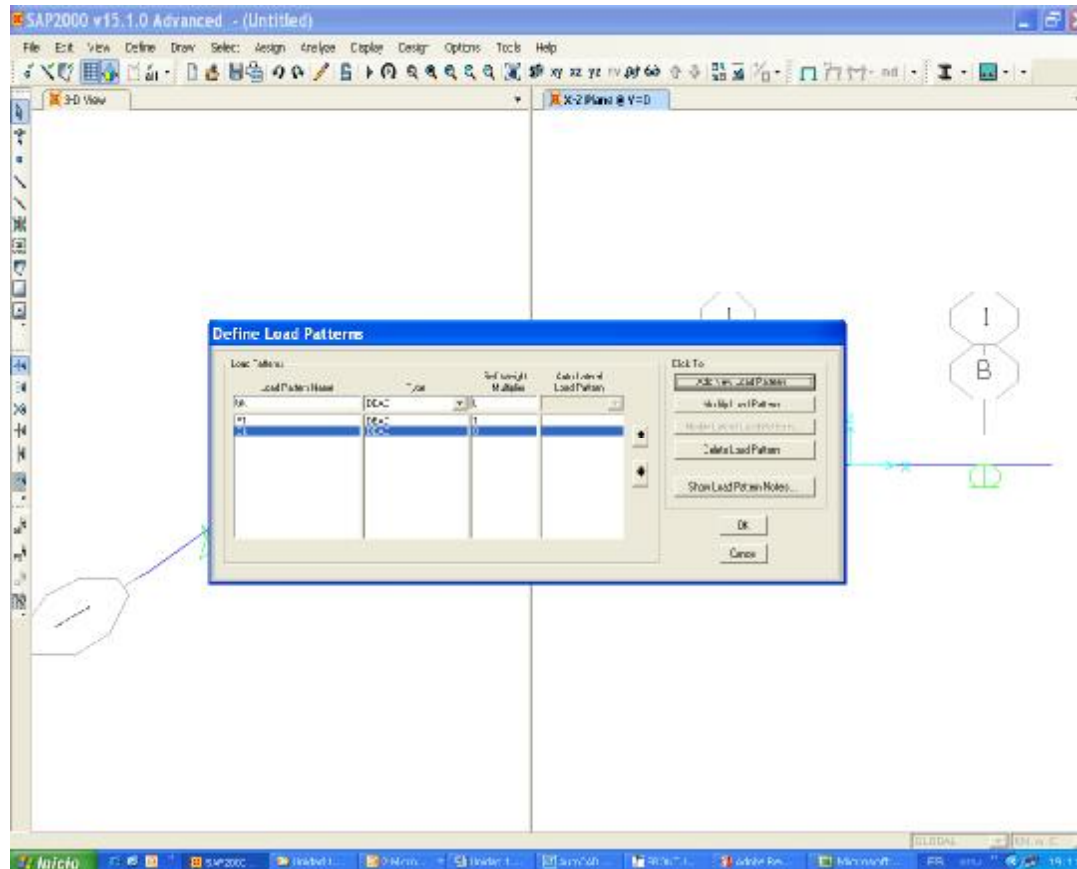


Debemos rellenar los campos, el nombre de la sección, las dimensiones, elegir el material ya definido anteriormente.



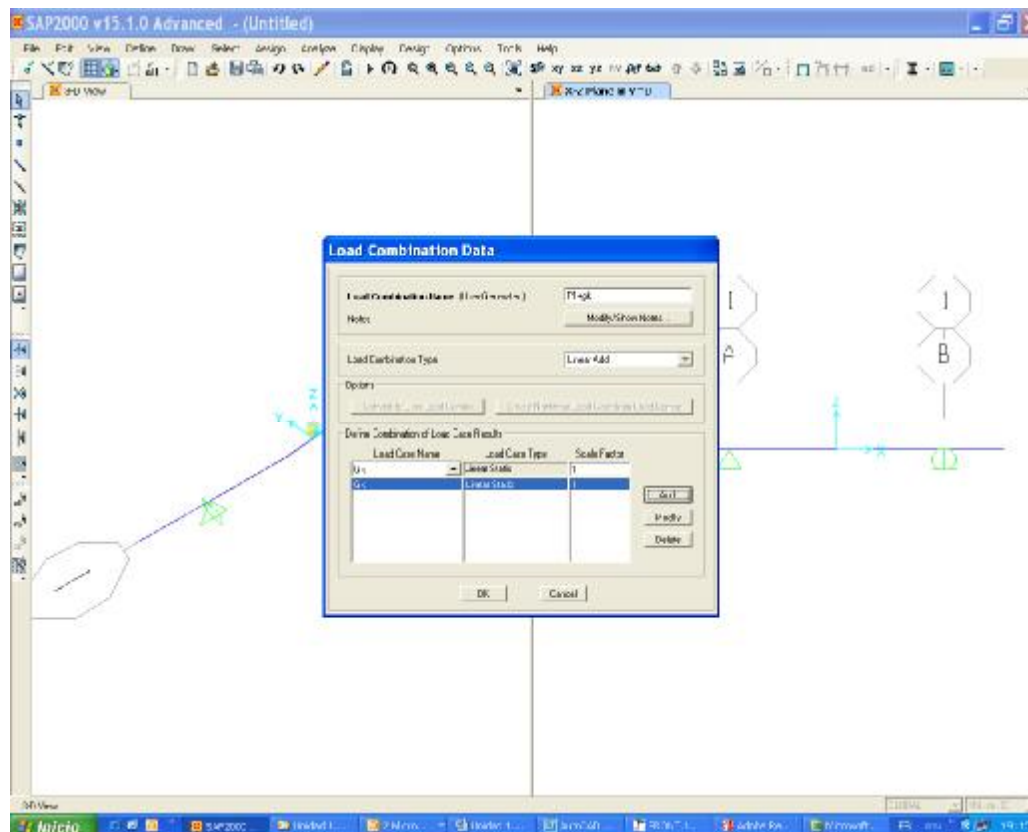


En lo que respecta a las cargas empezaremos con las más sencillas o hipótesis simples, las cuales se pueden encontrar en [DEFINE/Load patterns](#). Definiendo una carga debida exclusivamente al peso propio (P1) y otra de valor 20 KN/m (Gk), como se muestra en la imagen:





Si se quisiera combinar o sumar las dos acciones antes descritas es necesario definir una combinación de cargas. Esto puede hacerse mediante la orden [DEFINE/Load combinations/Add new combo](#). Esta opción permite incorporar factores de ponderación a las distintas hipótesis que forman la combinación, o lo que en detalle se verá posteriormente coeficientes de seguridad y simultaneidad.

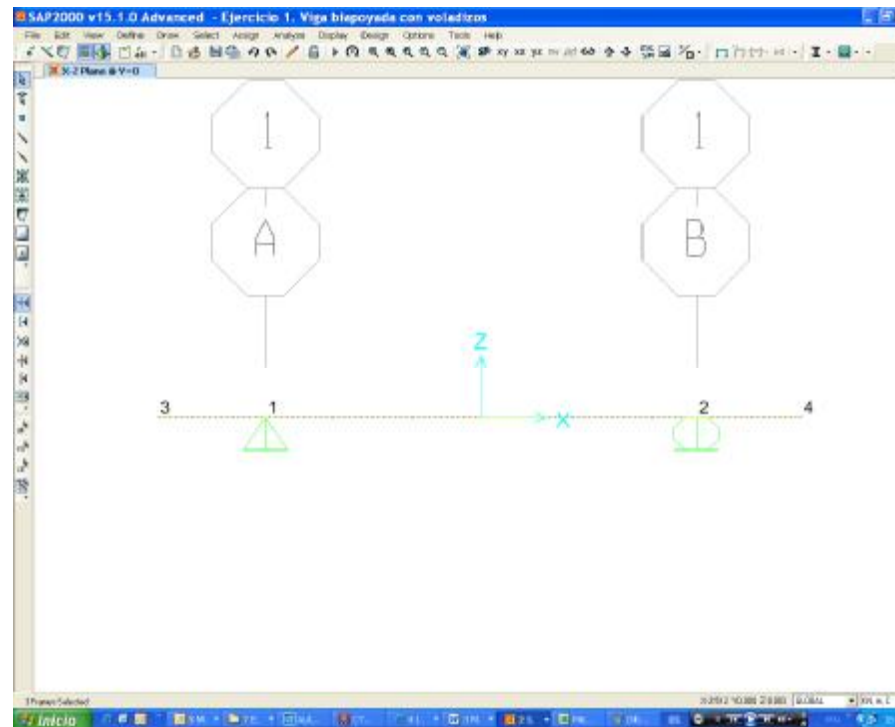




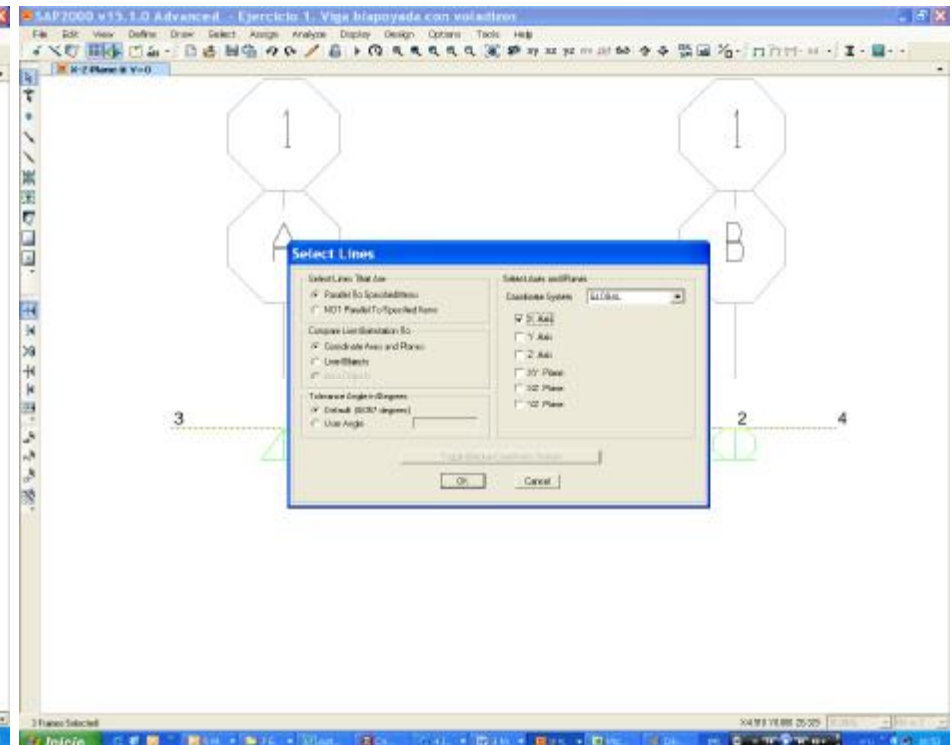
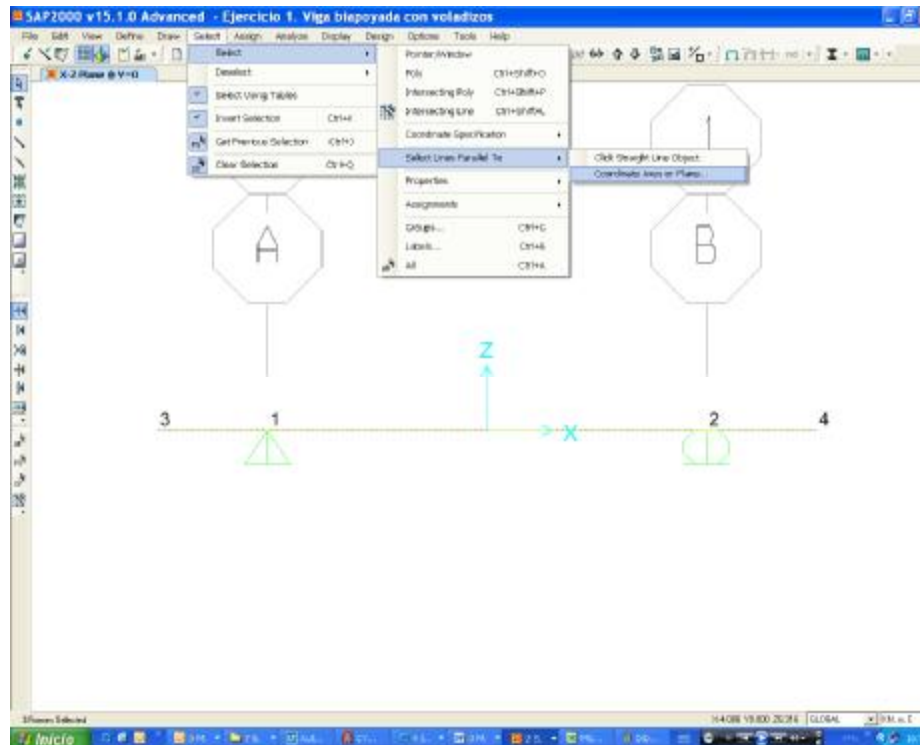
B.1.3) Selección del elemento.

Existen varias formas de seleccionar los elementos (en este caso barras) como paso previo a la asignación de propiedades y cargas:

B.1.3.1.) Selección del elemento mediante ratón. Situando el puntero sobre el elemento y pulsando el botón izquierdo del ratón.



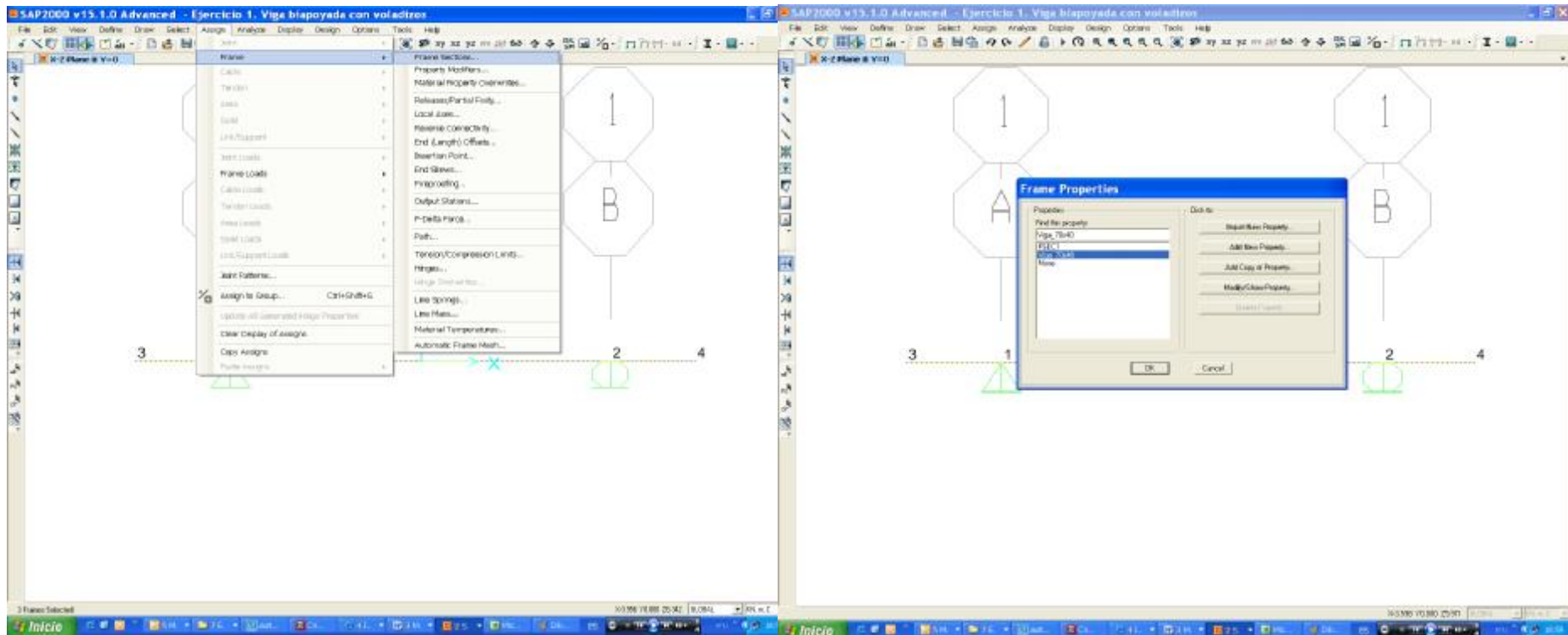
B.1.3.2.) Empleando los comandos desde los que se tiene acceso al menú desplegable con el nombre **SELECT/**. En este caso emplearemos la orden de selección paralelo al un eje dado, en nuestro caso el eje X.





B.1.4) **Asignar** propiedades y cargas al modelo definido.

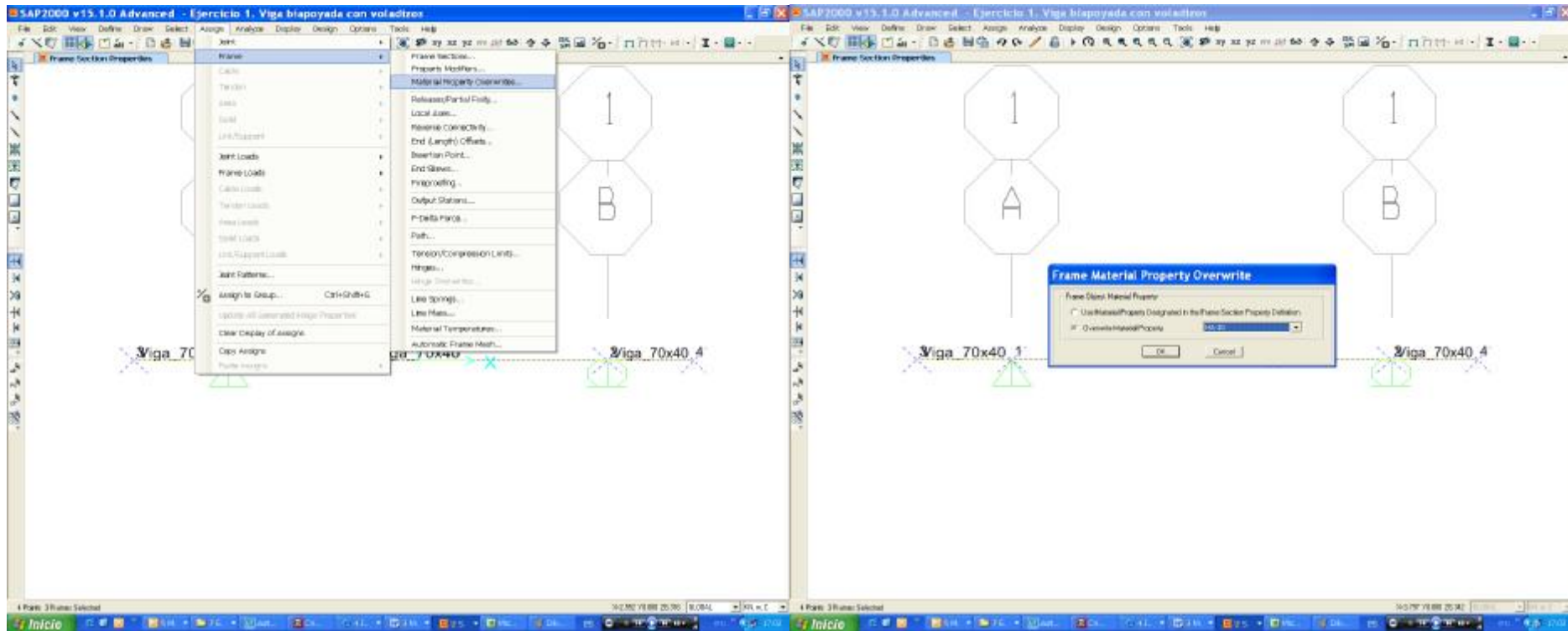
B.1.4.1.) **Asignación de sección** del elemento **ASSIGN/Frame sections**



Recordamos que previamente habíamos definido una viga de canto de dimensiones 70x40 cmxcm.



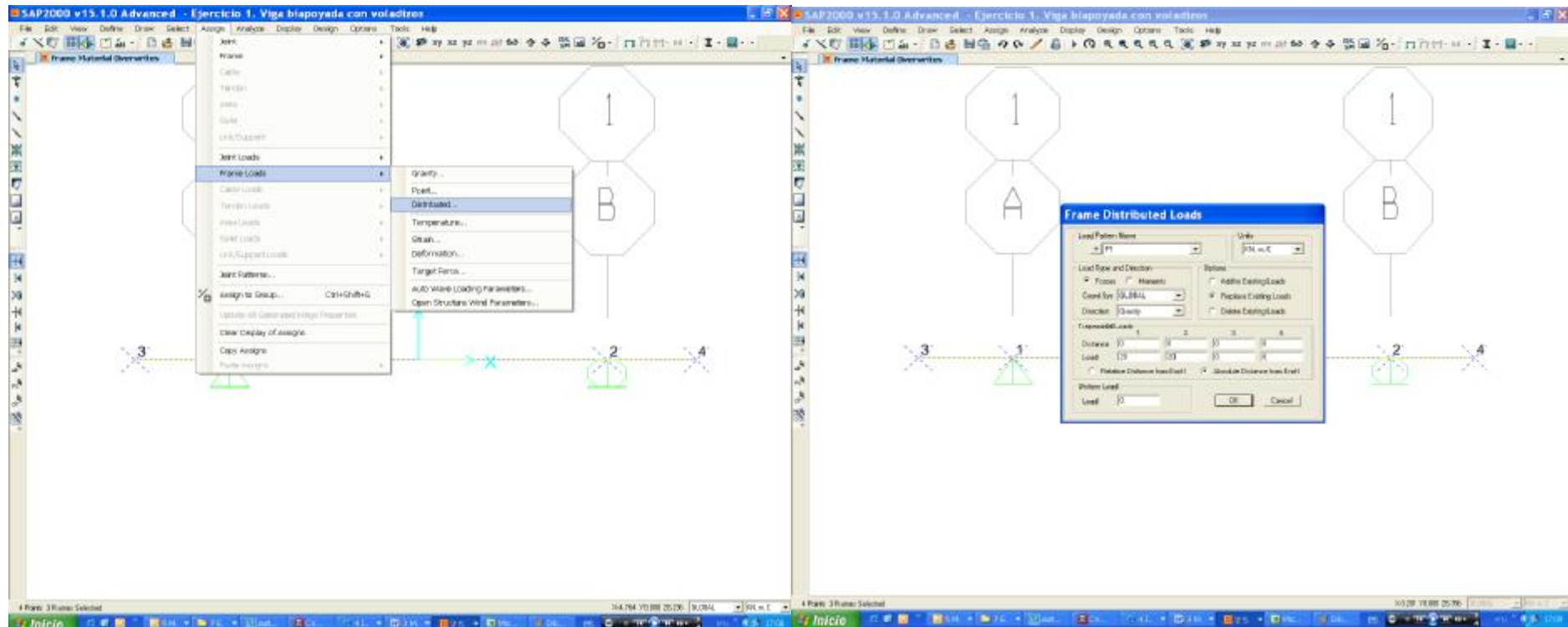
B.1.4.2.) **Asignación material** al elemento mediante el comando **ASSIGN/Material property overwrites**



Recordamos que previamente habíamos definido un hormigón de acuerdo a normativa española de clase HA-30.



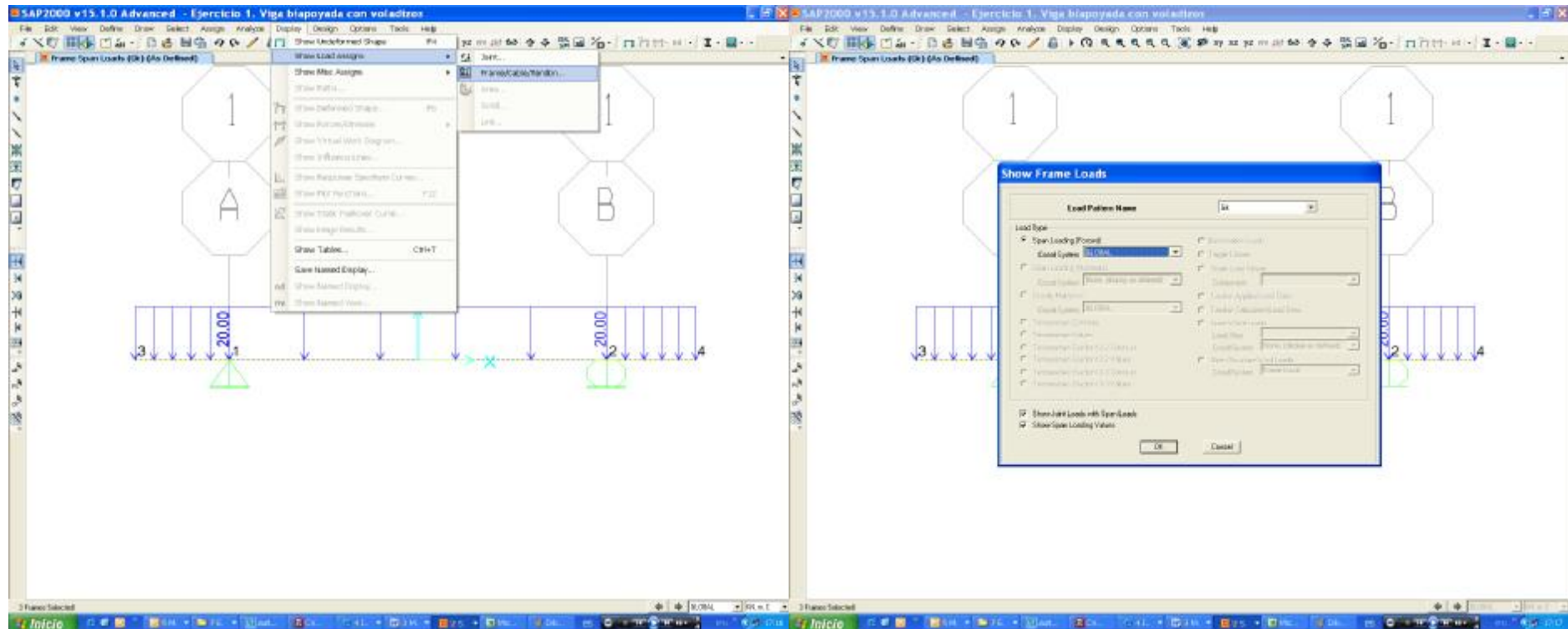
B.1.4.3.) **Asignación de cargas** a los elementos barras con **ASSIGN/Frame loads/Distributed**



Recordamos que previamente habíamos definido una carga llamada "Gk". Esta carga es uniformemente repartida de valor 20 KN/m. Con respecto al peso propio esta queda definido por defecto en la carga DEAD o "P1".



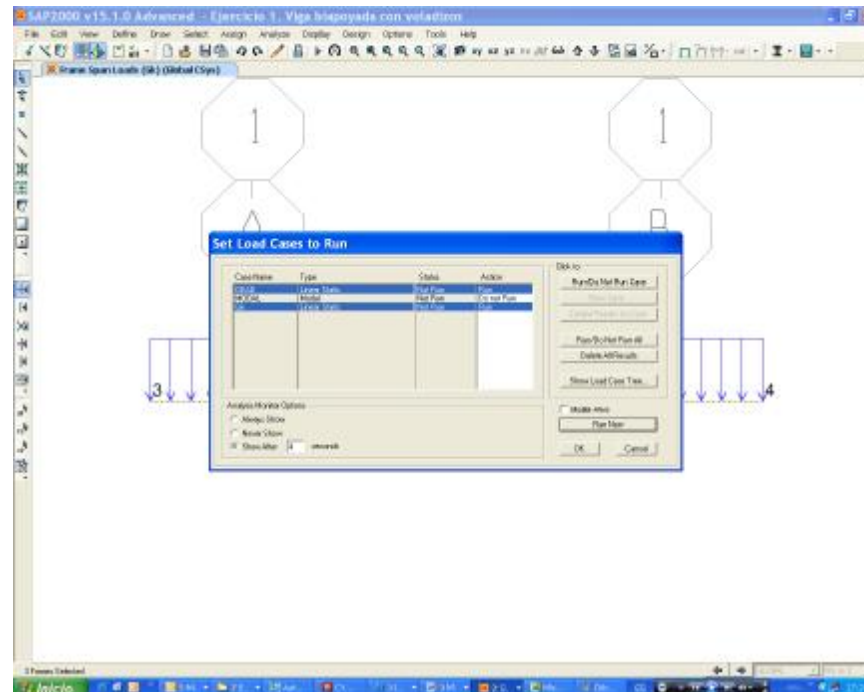
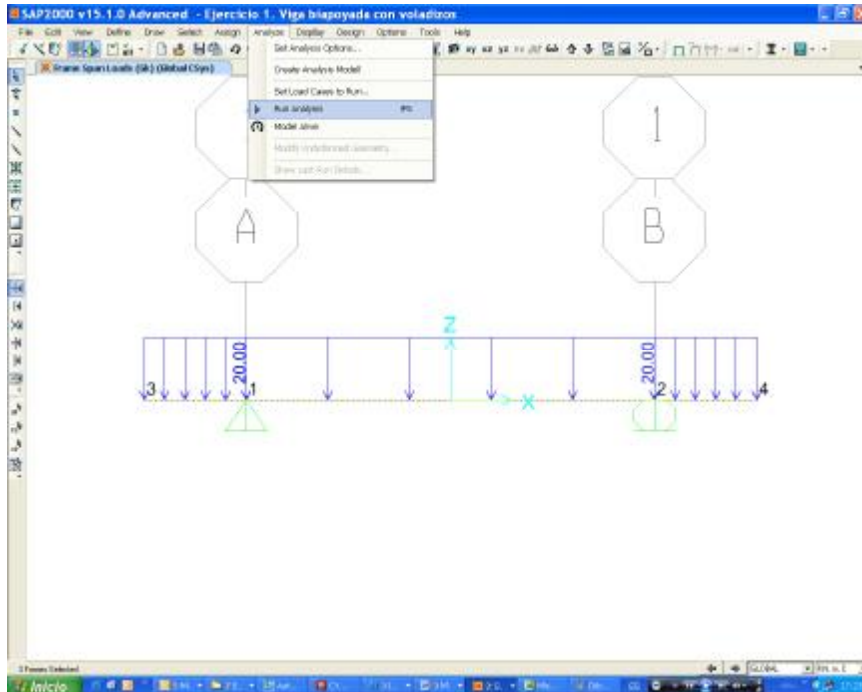
Si por ejemplo queremos ver la carga introducida en la viga existen varias opciones. Entre una de ellas, la representación gráfica en la pantalla. Empleado la orden **DI SPLAY/Show load assigns/Frame**





B.1.5) Calcular o Análisis de la estructura.

Una vez definida al completo la estructura procederemos a su cálculo mediante la orden **ANALYZE/Run Analysis**. Como no se requiere realizar un cálculo modal de la estructura solo se seleccionaran las hipótesis simples definidas previamente (P1 y gk). Por defecto el software efectuará un cálculo exclusivamente lineal en base a las "load patterns (hipótesis simples)" ya definidas, obteniéndose también por defecto resultados en aquellas combinaciones de acciones formadas por las cargas P1 y Gk.



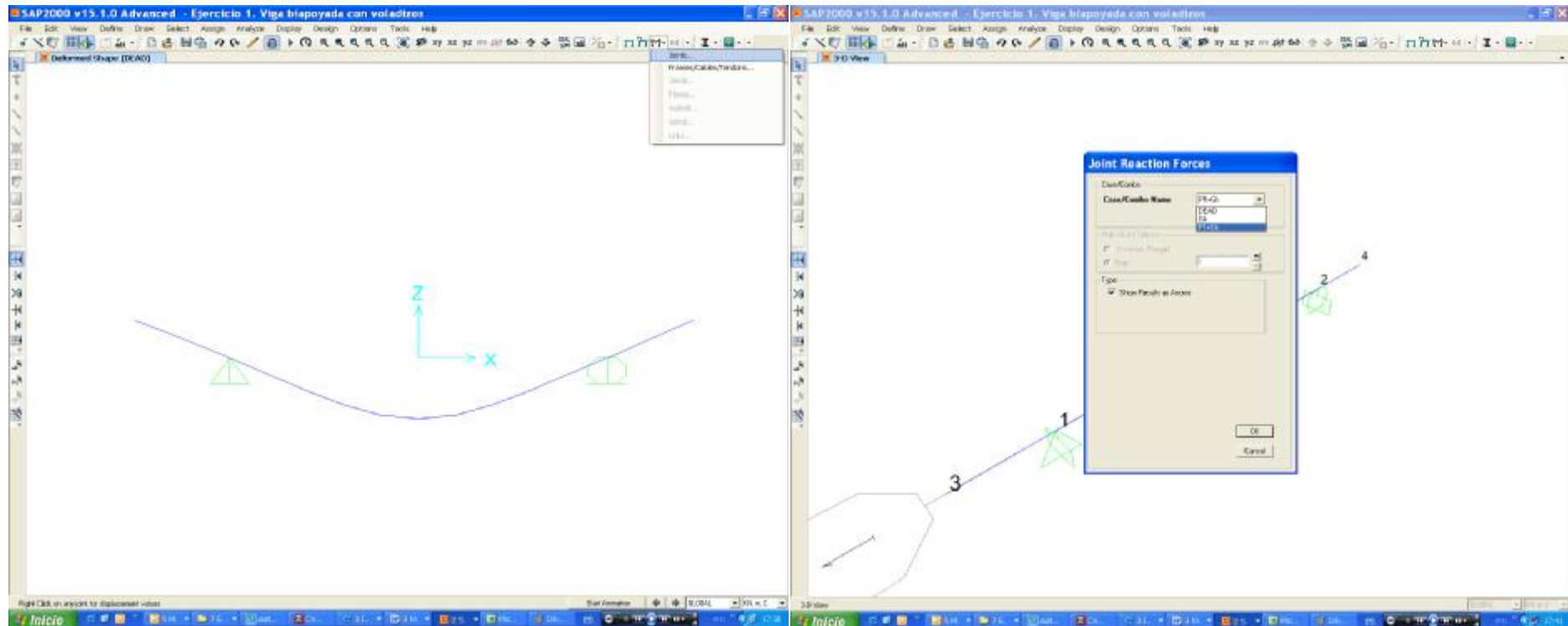


B.1.6) Visualización de resultados.

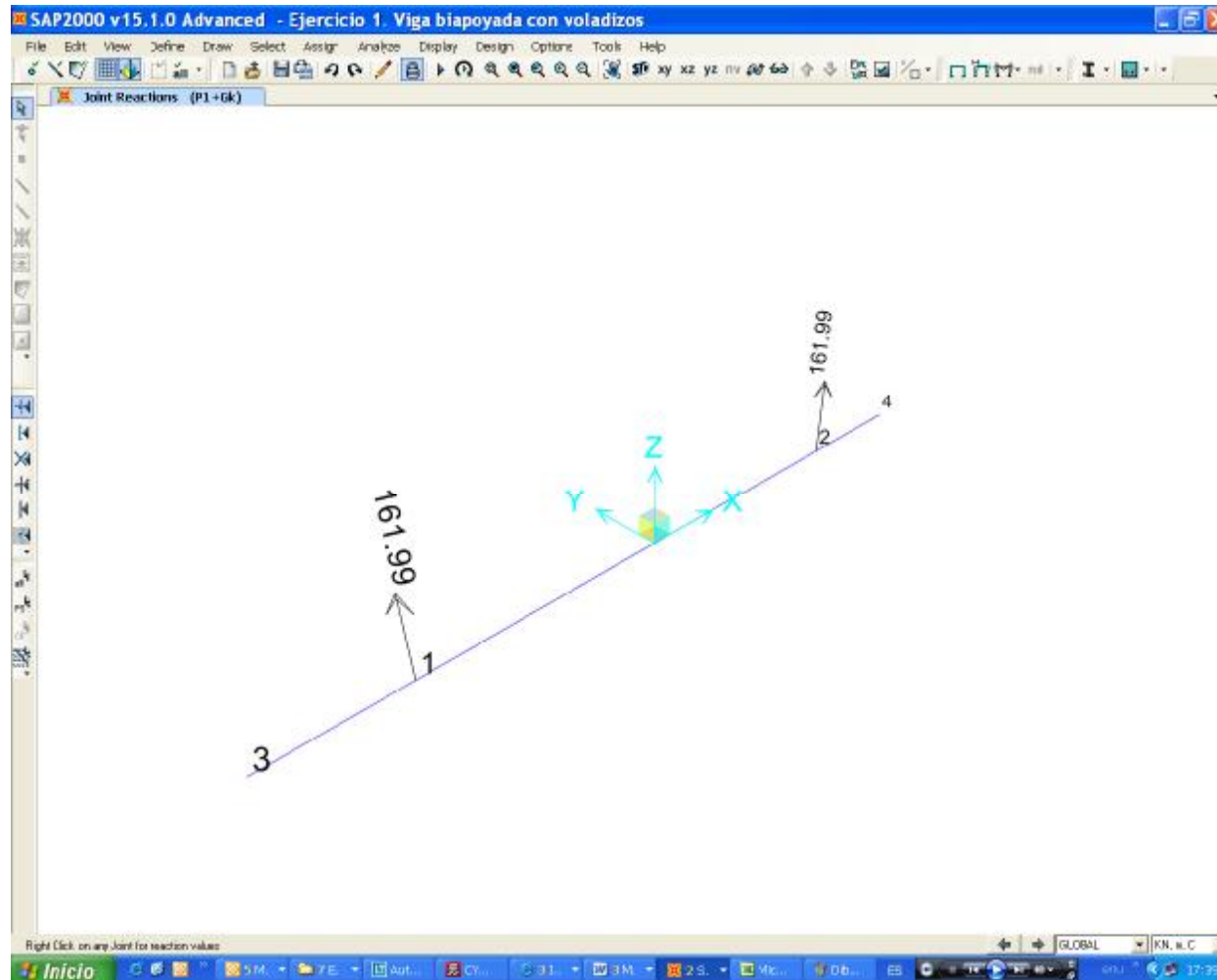
Son muchos los resultados que se pueden obtener tras el cálculo.

B.1.6.1. Obtención de reacciones en los apoyos:

Pulsando el icono del pórtico con el flector se opta por el comando **joints** y se selecciona la combinación de cargas "P1+Gk"



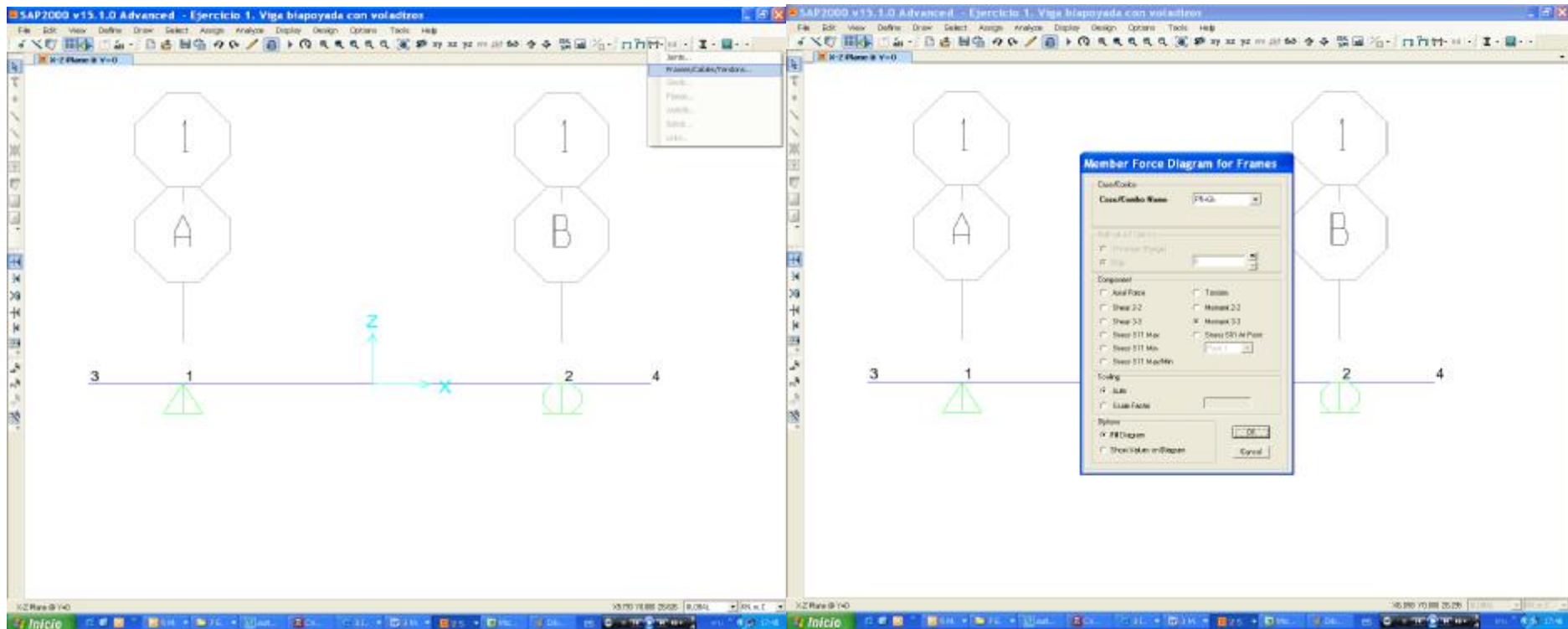
Las reacciones para la mencionada combinación se muestran en la pantalla:





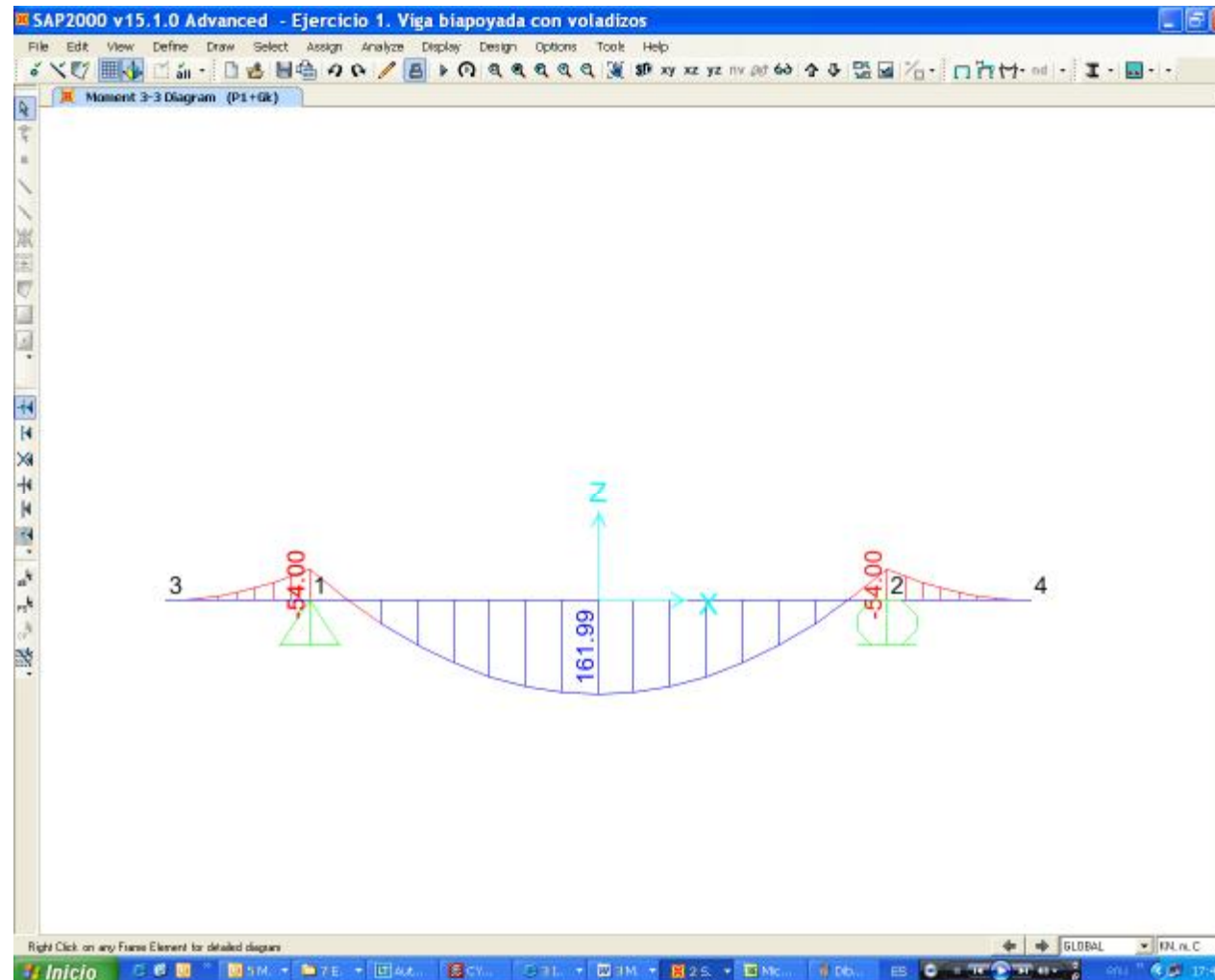
B.1.6.1. Obtención de esfuerzos de flexión y de cortante máximos:

Pulsando el icono del pórtico con el flector se opta por el comando frames, se selecciona la combinación de cargas "P1+Gk" y la opción del momento entorno al eje 3-3 (**Moment 3-3**)



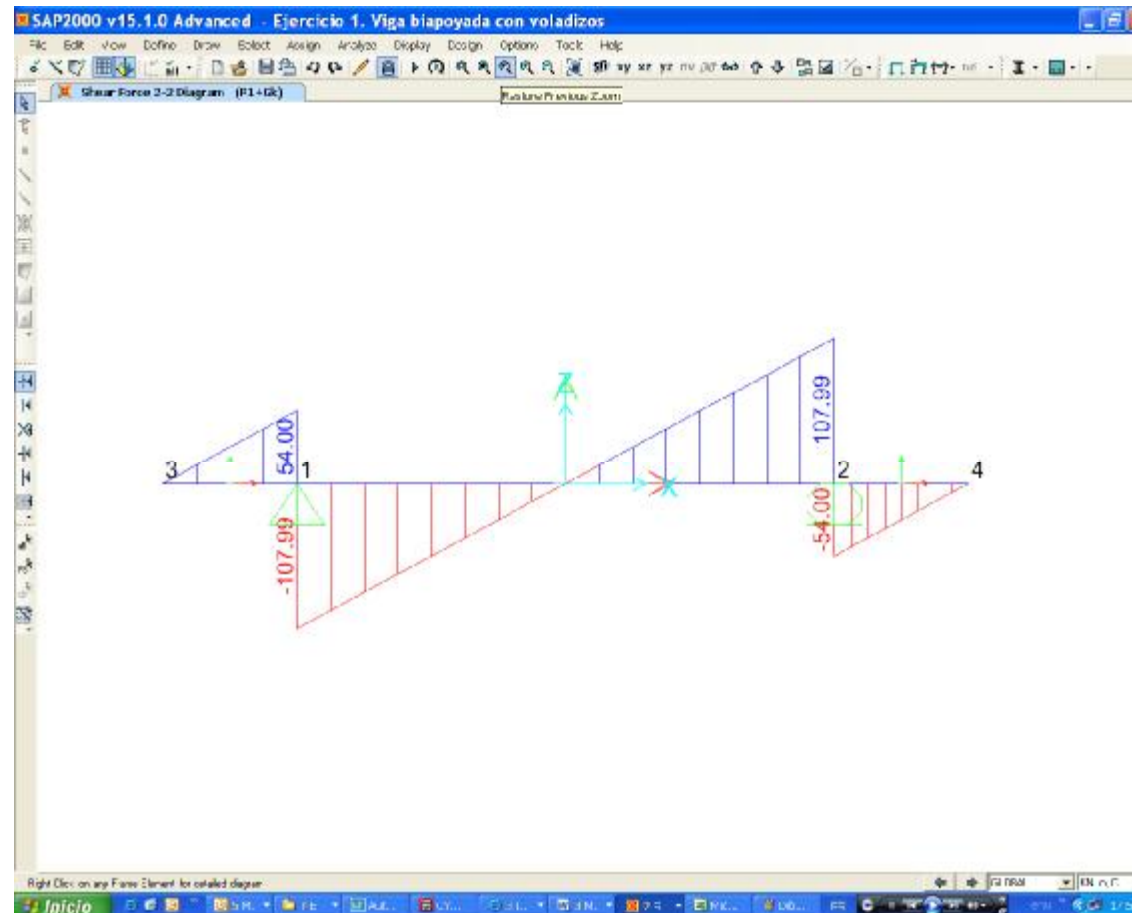


Los máximos esfuerzos de flexión se sitúan en el centro de vano y sobre los apoyos:



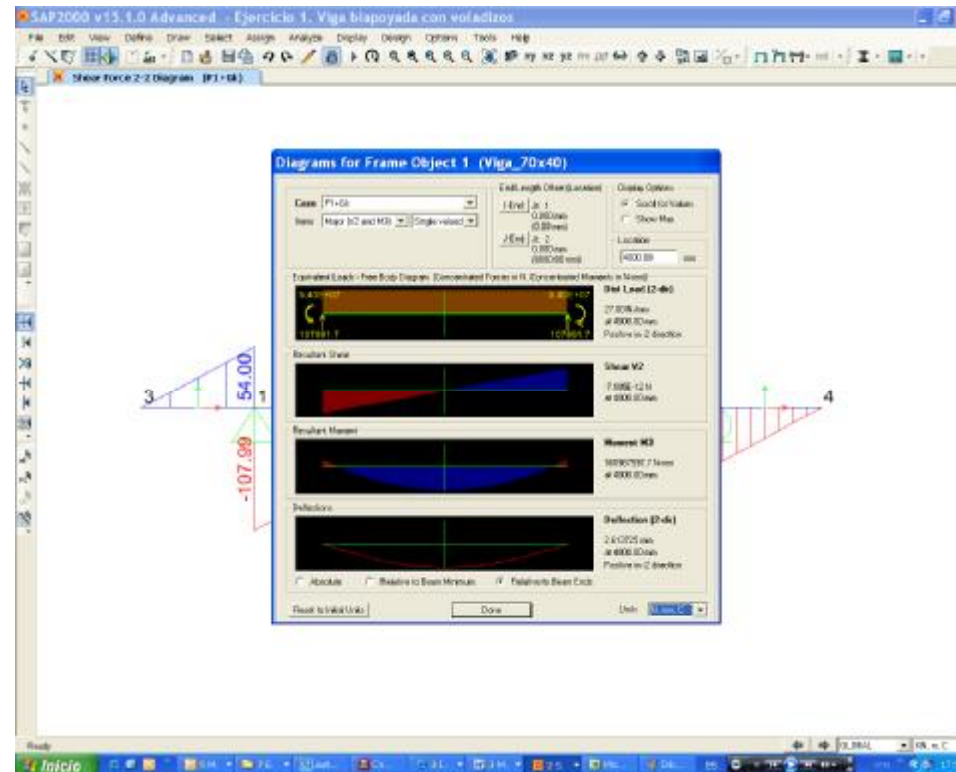


En el caso del esfuerzo cortante repetiremos la operación pero esta vez seleccionando el cortante definido como "Shear 22", obteniéndose la siguiente ley lineal:





En el caso de la deformación si los diagramas están a la vista una posible forma de consultar la deformación en la barra es seleccionarla y pulsar el botón derecho del ratón sobre esta, apareciendo el siguiente menú:



La deformación de la pieza se representa en el diagrama inferior. Nótese que en la esquina inferior existe un desplegable con unidades, seleccionándose esta vez la opción de N,mm. La flecha máxima es de 2.62 mm.



B.1.7. Verificación de los resultados ofrecidos por el programa:

* EJERCICIO 1. VIGA SIMPLEMENTE APOYADA

1. CARGAS ACTUALES SOBRE LA VIGA:

Peso propio (DEAD) $P_1 = 25 \text{ kN/m}^3 \times 0,70 \times 0,40 = 7 \text{ kN/m}$
 RESTO DE CARGAS $G_k = 20 \text{ kN/m}$
 $\Sigma = 27 \text{ kN/m}$

2. CÁLCULO DE REACCIONES:

POR SIMETRÍA:

$$R_{V1} = R_{V2} = \frac{\Sigma F_v}{2} = \frac{7 \times 12 + 20 \times 12}{2} = 162 \text{ kN} (\uparrow)$$

3. SOLICITACIONES PÉSIMAS

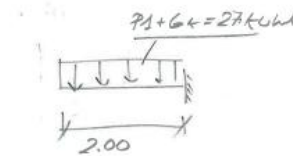
3.1. MOMENTO FLECTOR EN CENTRO DE VAGO: (M_{VAGO})

$M_1 = M_2 = \frac{(P_1 + G_k) \times L^2}{8} = \frac{27 \times 12^2}{8} = 384 \text{ m.kN}$

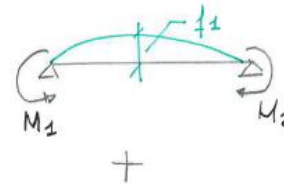
$$M_{VAGO} = \frac{M_1 + M_2}{2} + \frac{(P_1 + G_k) \cdot L^2}{8} = 0 + \frac{27 \cdot 8^2}{8} = 162 \text{ m.kN}$$

3.2. CORTANTE EN EXTREMO (V_1 y V_2) (VAGO)

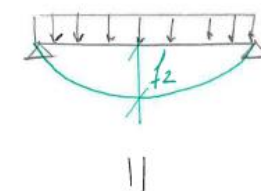
$V_1 = \frac{P_1 + G_k}{2} \cdot L = \frac{27}{2} \cdot 12 = 162 \text{ kN}$
 $V_2 = V_1 - (P_1 + G_k) \cdot L = 162 - 27 \cdot 12 = -162 \text{ kN}$



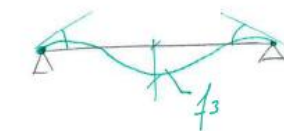
4. DEFORMACIONES:



$$f_1 = \frac{(M_1 - M_2) \cdot L^2}{16 \cdot E \cdot I_x} = -1,125 \text{ m}$$



$$f_2 = \frac{5 \cdot (P_1 + G_k) \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_x} = +3,75 \text{ m}$$

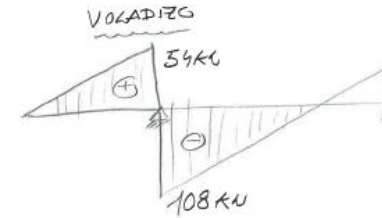


$$f_3 = f_1 + f_2 = 2,63 \text{ m}$$

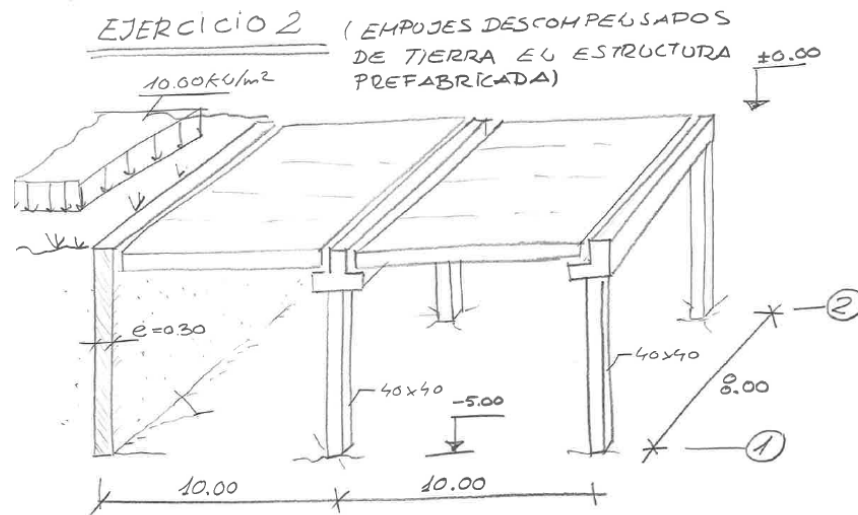
$E_c = 33.577.000 \text{ kPa}$ (MODULO DE DEFORMACIÓN LONGITUDINAL
TÍPICA DEL HORMIGÓN).

$$I_x = \frac{0,40 \times 0,7^3}{12} = 1,143 \cdot 10^{-2} \text{ m}^4$$

$$E_c \cdot I_x = 383898 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$$



B.2 Estructura 2. Modelización de un pórtico transversal de una estructura prefabricada sometido a empuje descompensado de tierras mediante la orden Import/Autocad DXF



DATOS:

HORMIGÓN HA-35 S/EHE

ACERO B-500-S

RELLENO POST. EJECUCIÓN

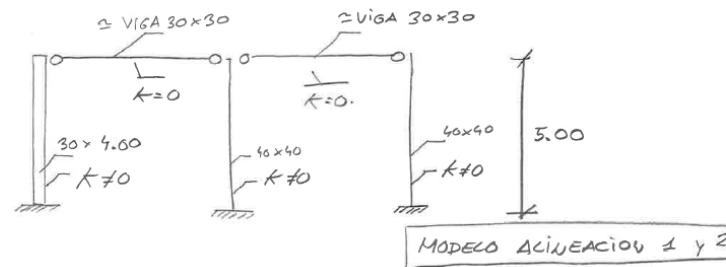
$\phi = 28^\circ$ $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $C = 0$

SE PIDE:

1. REACCIONES EN
CIMENTACIÓN

2. DIAGRAMAS DE
FLECTORES EN
PILARES Y MURO.

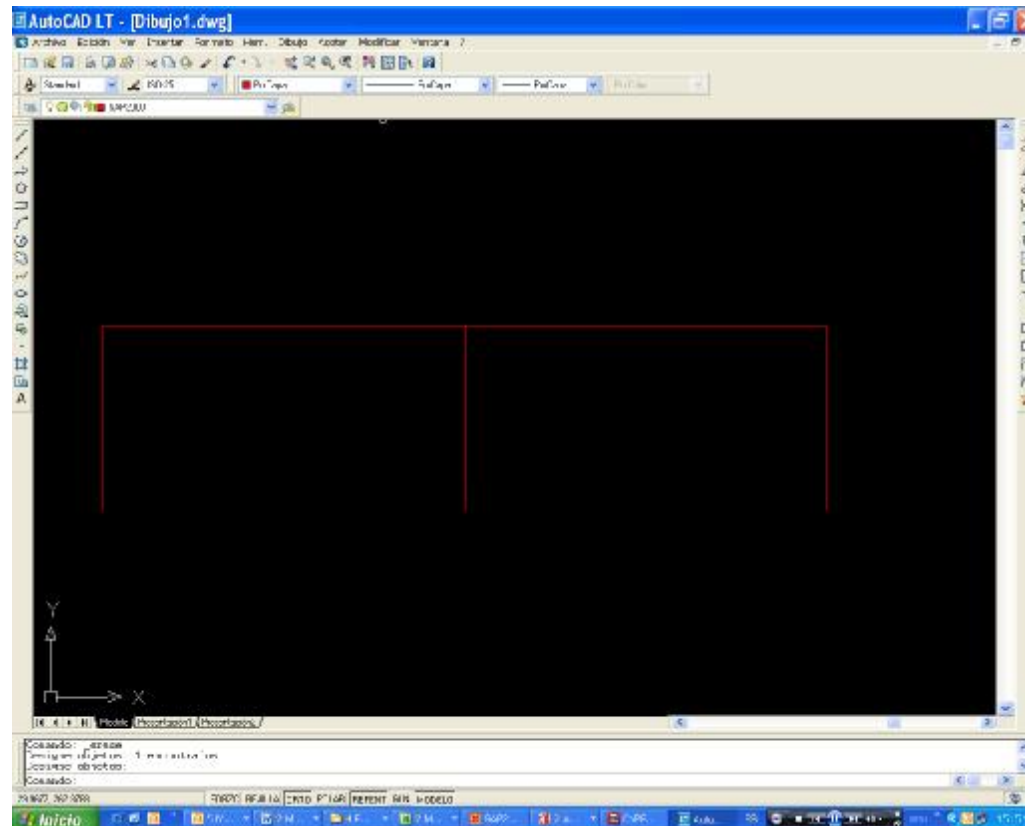
NOTA: EL RELLENO EN
EL TRASDÓS DEL MURO
SE REALIZARÁ UNA VEZ
EJECUTADA LA ESTRUCTURA.





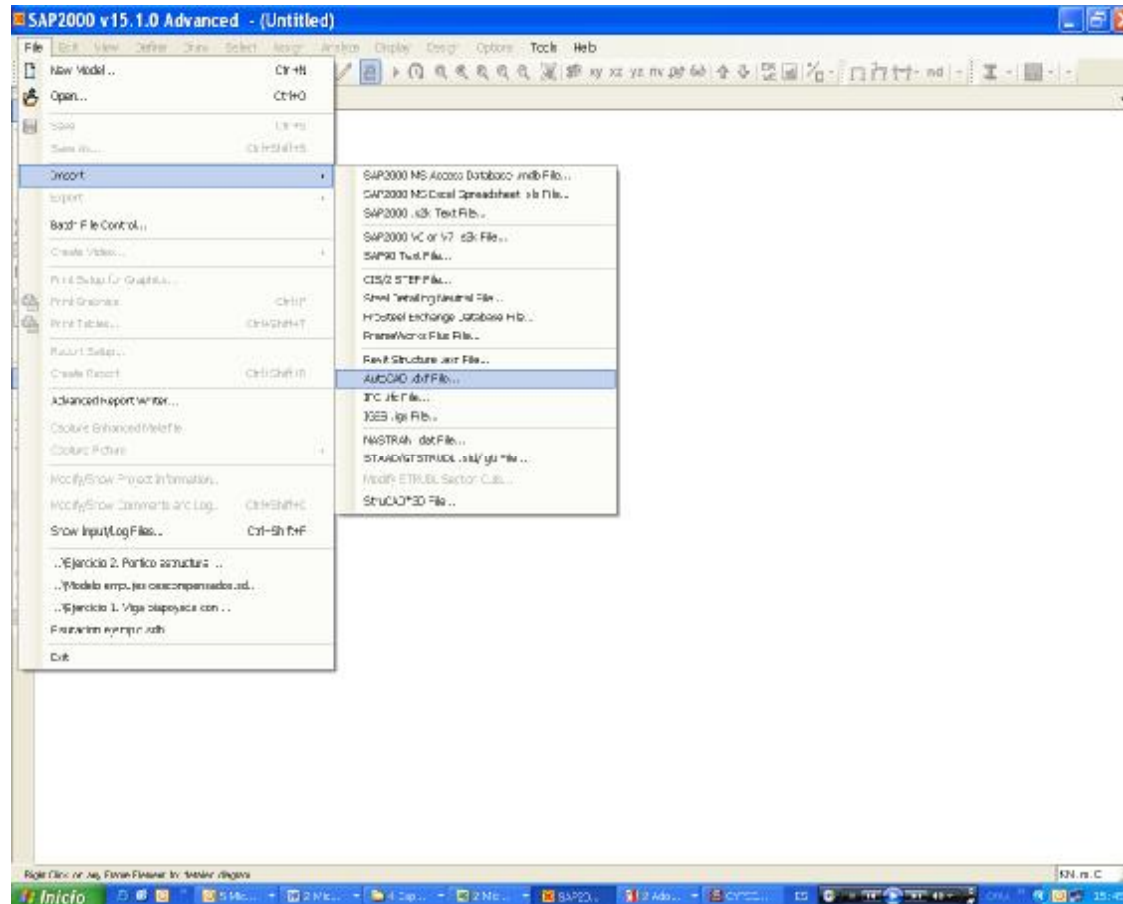
B.2.1) Definición de modelo mediante importación de fichero con extensión .DXF

Es necesario dibujar previamente la geometría en un programa de Dibujo como puede ser el caso de AUTOCAD. Es recomendable crear una capa a la que pertenezcan los elementos que queremos Exportar al programa SAP2000, en nuestro caso la capa se llama SAP2000 y las barras son de color rojo:



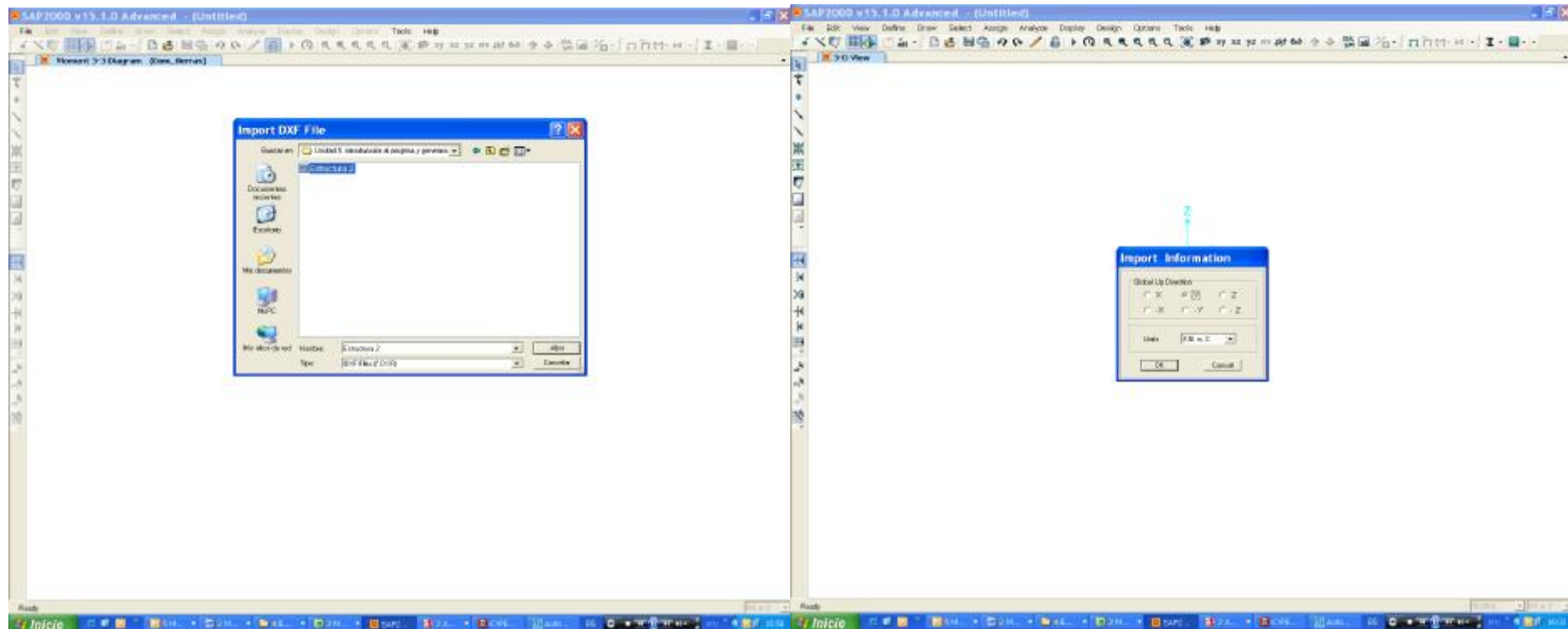


Una vez dibujado en Autocad el pórtico se pretende modelizar, y habiéndose salvado el dibujo con el nombre Estructura 2 con extensión .DXF se accede a la orden **FILE/Import/ Autocad .dxf file**



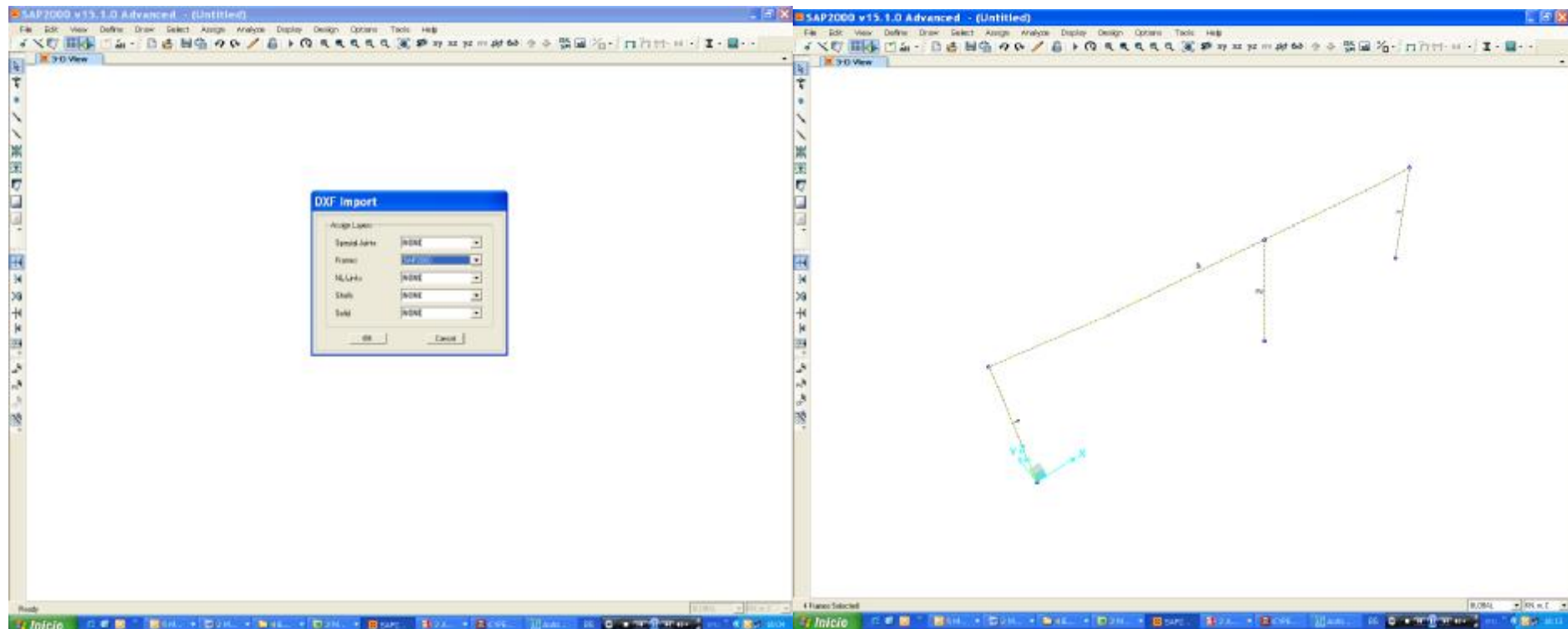


Si elegimos el fichero generado, decimos que la dirección Y positiva representa el eje vertical del modelo:





Y que los elementos pertenecientes a la capa SAP2000 son barras **FRAMES**; se obtiene el siguiente modelo:



NOTA IMPORTANTE: Cuidado con las unidades. Las unidades dispuestas en el momento en el que se importe el fichero de dibujo serán con las que se definan las longitudes de las distintas barras.

B.2.2) Definición de materiales y secciones

Al igual que lo dicho en el ejercicio 1 anteriormente, se definirán los materiales y las secciones de forma análoga. En este caso a diferencia del ejercicio anterior es necesario definir las articulaciones en los extremos de las barras (**REALESSES**) y las restricciones en los apoyos (**RESTRAINTS**). Se reproducen a continuación las restricciones en extremo de barra y a nivel de nudos.

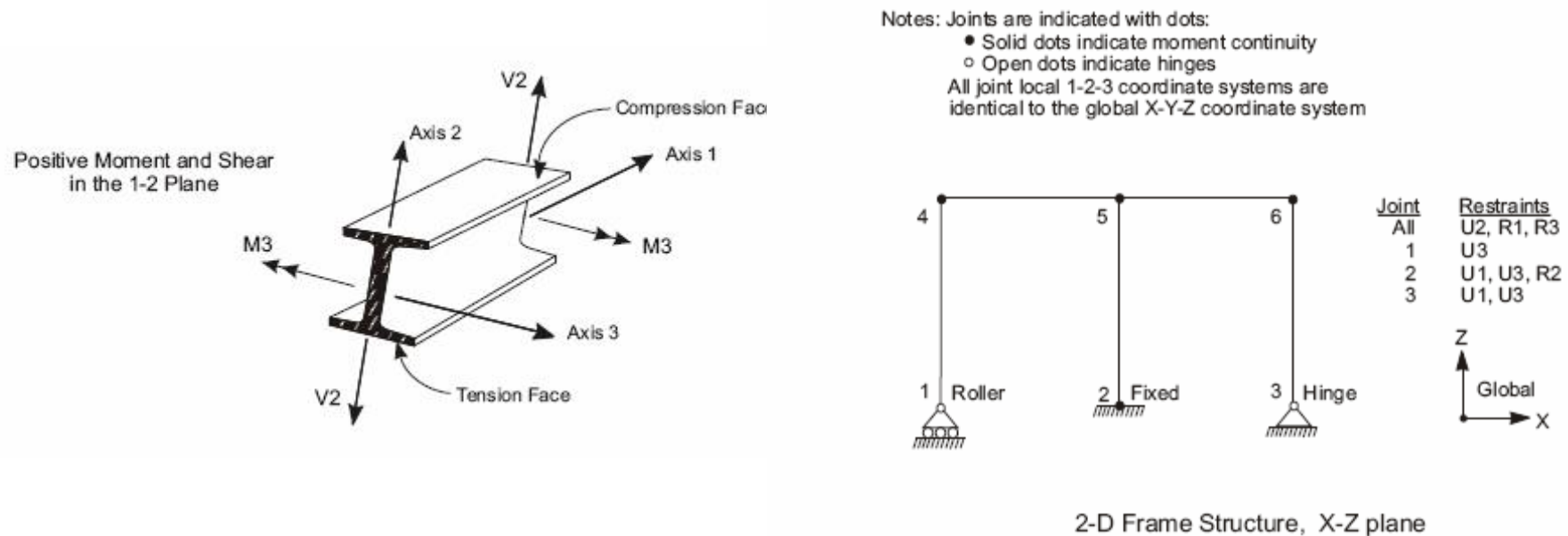


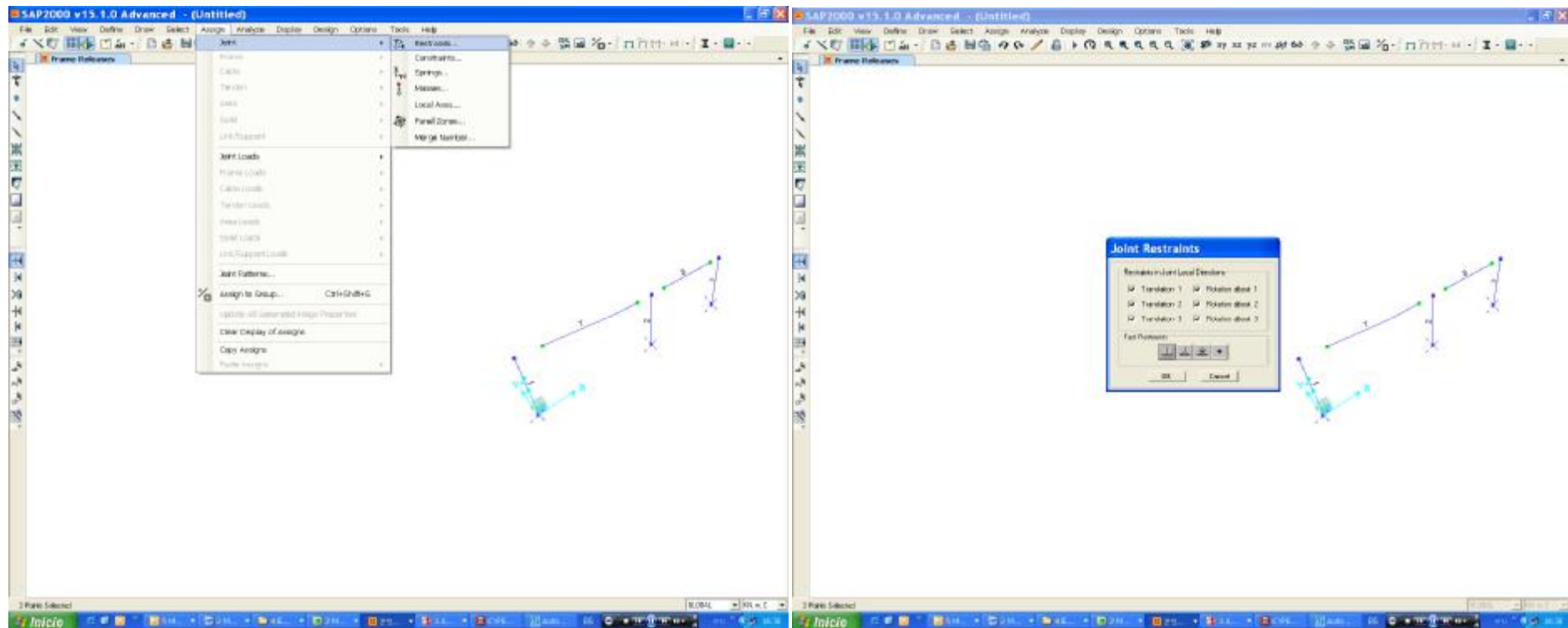
Figure 6
Examples of Restraints

The left screenshot shows the SAP2000 v15.1.0 Advanced software interface. The 'Assign' menu is open, and the 'Releases/Partial Fixity' option is selected. A context menu for the selected frame is also visible, showing options like 'Frame Releases...', 'Property Modifiers...', 'Material Property Overrides...', 'Releases/Partial Fixity...', 'Local Axes...', 'Reverse Connectivity...', 'End (Length) Objects...', 'Swaption Point...', 'End Slaves...', 'Hinge Release...', 'Output Diagrams...', 'n-peta Force...', 'Path...', 'Tension/Compression Limits...', 'Hinges...', 'Large Displacement...', 'Use Springs...', 'Use Mass...', 'Material Temperature...', and 'Automatic Frame Mesh...'. The 'Assign' menu also includes options like 'Frame Releases...', 'Frame Modifiers...', 'Frame Property Overrides...', 'Frame Releases/Partial Fixity...', 'Frame Local Axes...', 'Frame Reverse Connectivity...', 'Frame End (Length) Objects...', 'Frame Swaption Point...', 'Frame End Slaves...', 'Frame Hinge Release...', 'Frame Output Diagrams...', 'Frame n-peta Force...', 'Frame Path...', 'Frame Tension/Compression Limits...', 'Frame Hinges...', 'Frame Large Displacement...', 'Frame Use Springs...', 'Frame Use Mass...', 'Frame Material Temperature...', 'Frame Automatic Frame Mesh...', 'Assign to Group...', 'Copy to Group...', 'Clear Display of Assigns', 'Copy Assigns', and 'Print Assigns'.

The right screenshot shows the same SAP2000 v15.1.0 Advanced software interface, but with the 'Assign Frame Releases' dialog box open. The dialog box has a 'Frame Releases' section with a table of checkboxes for 'Release' and 'Frame/Partial Fixity' for 'Axial Load', 'Global Force 2 (Shear)', 'Global Force 3 (Moment)', 'Twist', 'Moment 22 (Distort)', and 'Moment 33 (Distort)'. The 'Assign' button is highlighted.

Como se puede ver se pretende articular los dos extremos de las dos barras (START y END).

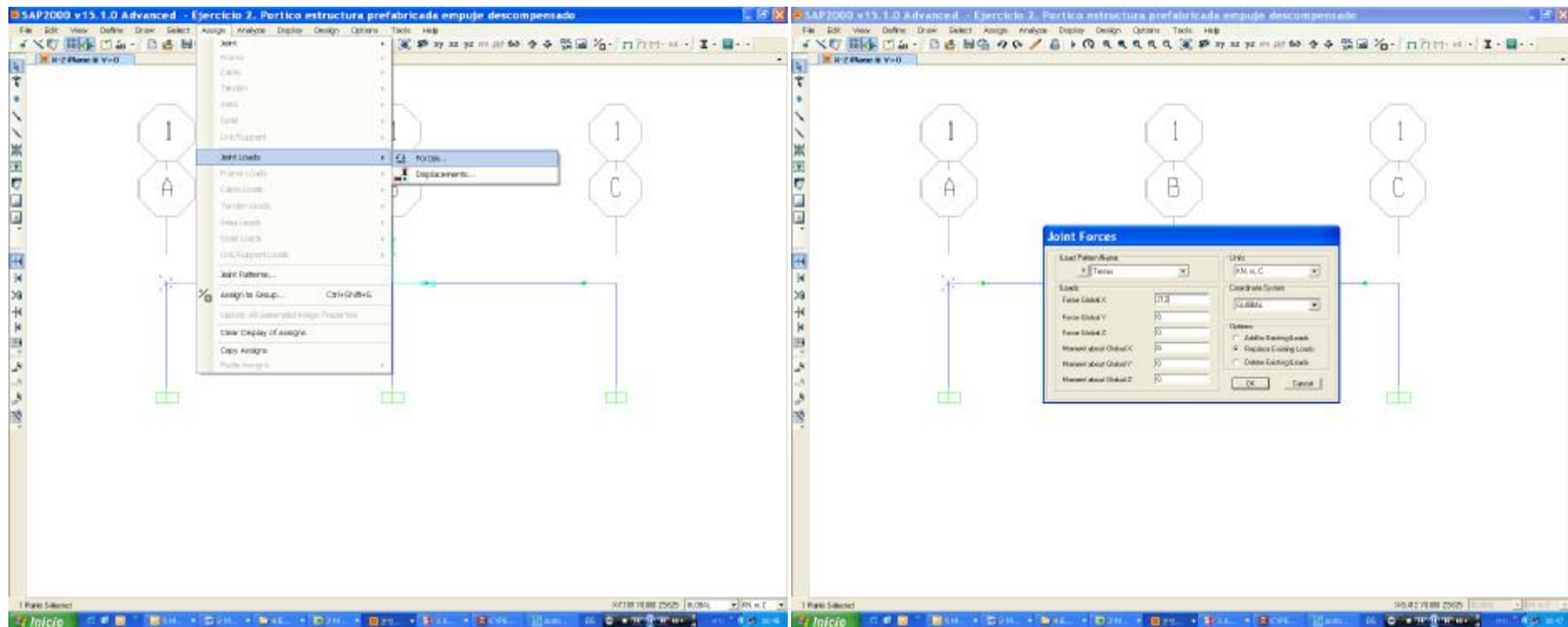
B.2.2.2.) **Definición** de las condiciones de apoyo. Una vez seleccionadas los nudos que constituirán los apoyos se procederá mediante la orden **ASSIGN/Joints/Restraints**. En este caso queremos los pilares empotrados a nivel de cimentación:



Nótese que en el empotramiento están restringidos todos los desplazamientos y todos los giros.

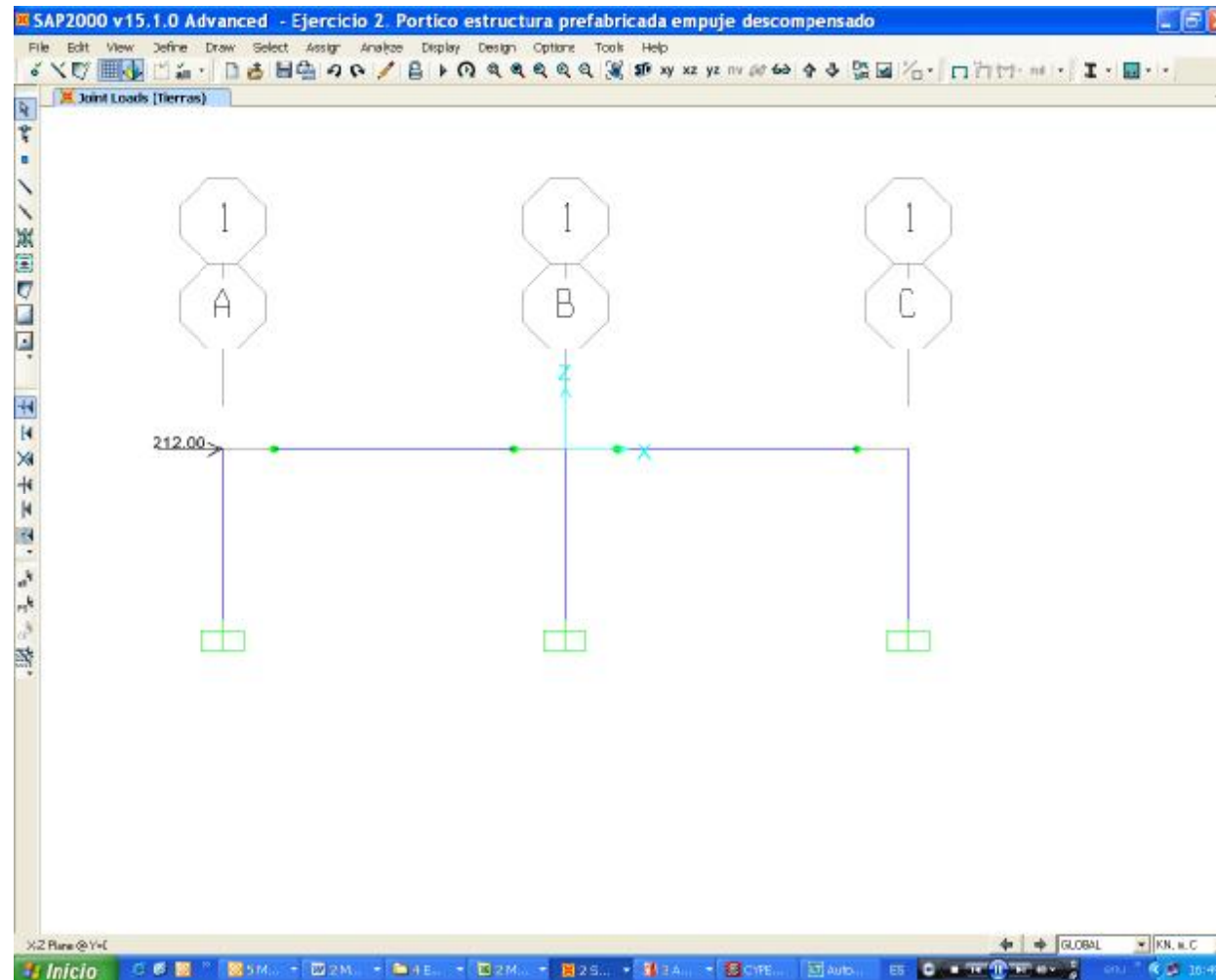


B.2.2.3.) **Definición** de la hipótesis simple debida al empuje de tierras. Como ya se vio anteriormente antes de la asignación de cargas es necesario crear una "LOAD PATTERN", a la que esta vez llamaremos tierra. Una vez definida esta asignaremos el valor y el tipo de carga a la estructura. La obtención del valor de la carga se puede consultar en la verificación del ejercicio situado al final del apartado. La carga consiste en una fuerza puntual horizontal aplicada en un nudo extremo de la estructura:





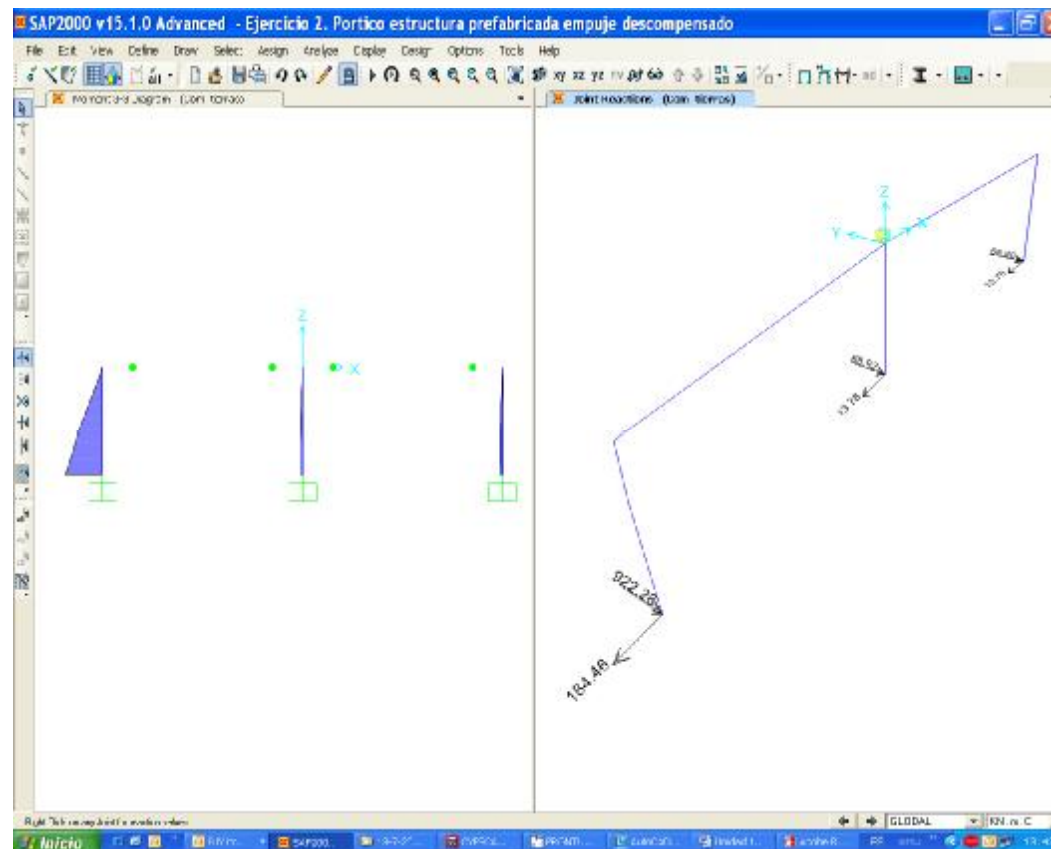
Obteniéndose el siguiente resultado:





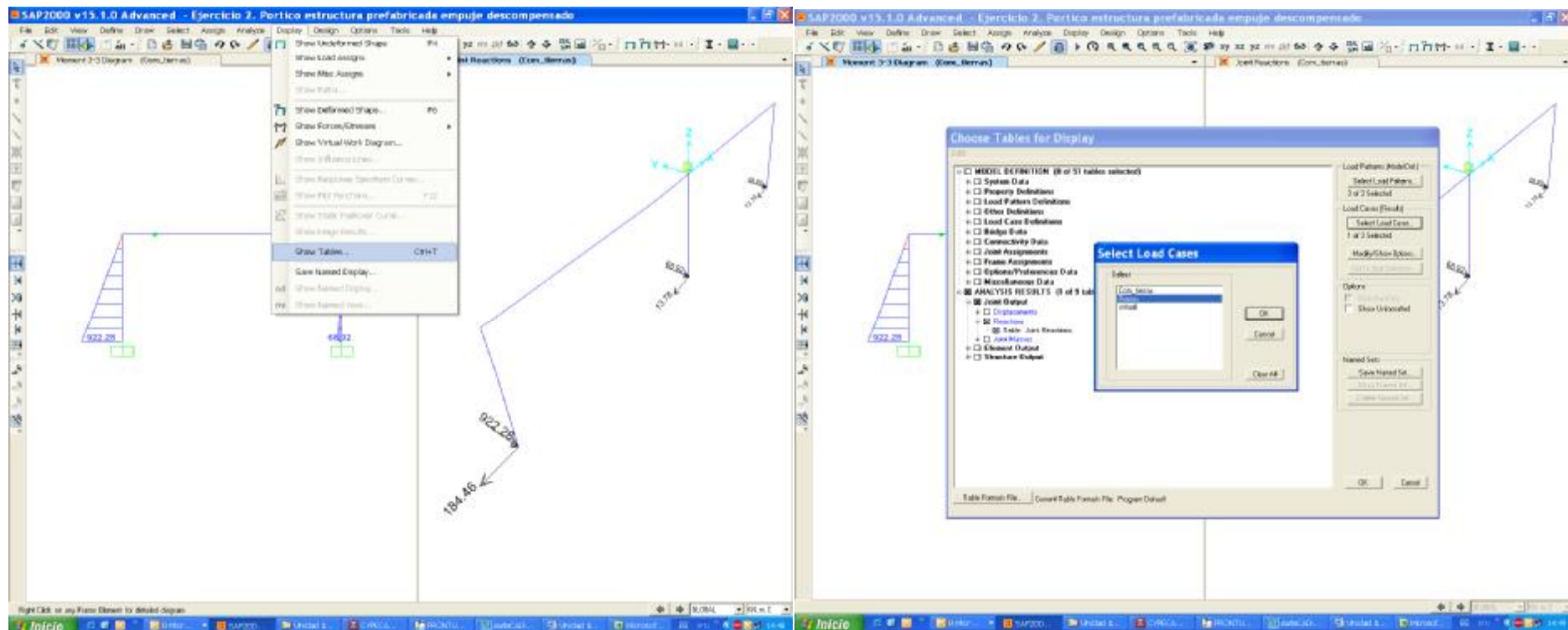
B.2.3 y B.2.4) **Calcular o Análisis** de la estructura y Visualización de **resultados**

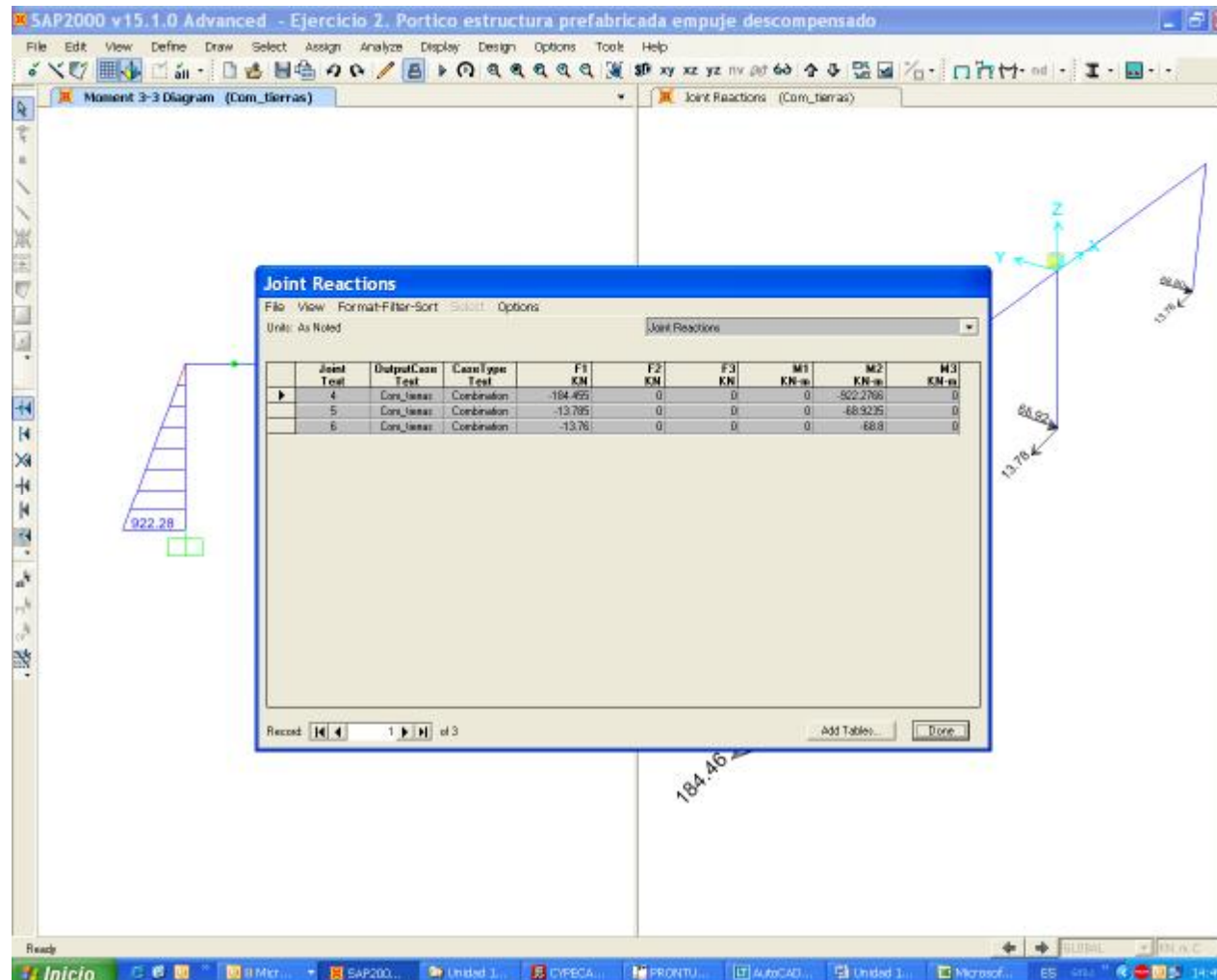
Tras pulsar el comando RUN Analysis, y chequeando que la estructura ha sido correctamente calculada, si se aprieta el icono del "Pórtico" o se accede por el comando [Display/ Show Forces/Stresses](#), se pueden consultar las leyes de flectores y las reacciones en cimentación debidas a la acción horizontal:





La salida de resultados también puede ser consultada mediante tablas o exportando los datos a un fichero Excel, operación esta que resulta de gran utilidad. Si usamos el comando **Display/Show Tables** y pedimos las reacciones, obtendremos los siguientes resultados:







B.2.5. Verificación de los resultados ofrecidos por el programa:

1. ACCIÓN DE LAS TIERRAS:

COEF. EMPUJE HORIZONTAL AL REPOSO S/JACKY:

$$K_0 = 1 - \sin \phi \quad (\text{TERRENOS NORMALMENTE CONSOLIDADOS}).$$

$$K_0 = 0,53$$

LEY DE EMPUJES SOBRE TRASDOS DE
MUROS

$$p_{h2} = K_0 (\gamma \cdot z + q)$$

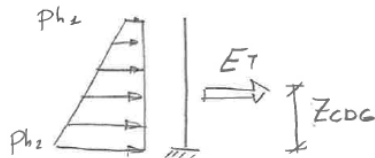
A COTA +0.00

$$p_{h2} = 0,53 \cdot (18 \cdot 0 + 10) = 5,3 \text{ kN/m}^2 @ 100 \text{ cm}$$

A COTA -5.00

$$p_{h2} = 0,53 \cdot (18 \cdot 5 + 10) - 0 = 53 \text{ kN/m}^2 @ 100 \text{ cm}$$

LA LEY DE EMPUJES QUEDA:



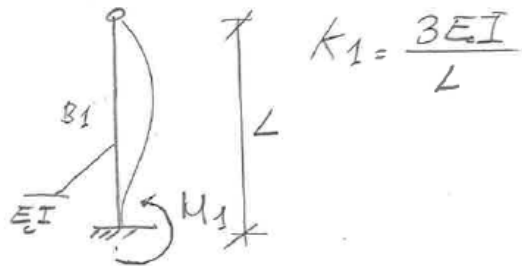
$$E_T = \left(\frac{5,3 + 53}{2} \right) \cdot 5,00 = 146 \text{ kN}$$

$$Z_{CDG} = 1,82 \text{ m}$$

NOTAS:



2. OBTENCIÓN DE RIGIDEZES A FLEXIÓN DE PILARES EN SENTIDO TRANSVERSAL.



EN NUESTRO CASO

$$E_c = 35.000.000 \text{ kN/m}^2$$

$$I_{\text{MURO}} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{4.0 \cdot 0.3^3}{12} = 0.009 \text{ m}^4$$

$$I_{\text{PILAR}} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0.30 \cdot 0.3^3}{12} = 0.000675 \text{ m}^4$$

$$E_c \cdot I_{\text{MURO}} = 315.000 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$$

$$E_c \cdot I_{\text{PILAR}} = 23.625 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$$

NOTAS:



3. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA

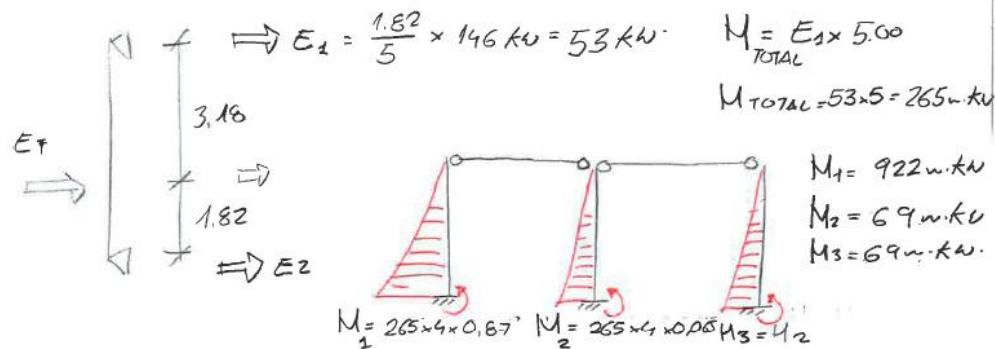
3.1. REPARTO DE RIGIDEZES (COEF. DE REPARTO)

$$C_{\text{MURO}} = \frac{K_{\text{MURO}}}{K_{\text{MURO}} + 2K_{\text{PILAR}}} = \frac{315.000}{315.000 + 2 \times 23.625} = 0,869$$

$$C_{\text{PILAR}} = \frac{K_{\text{PILAR}}}{K_{\text{MURO}} + 2K_{\text{PILAR}}} = \frac{23.625}{315.000 + 2 \times 23.625} = 0,065$$

LUEGO EL MURD SOPORTARÁ EL 87% DEL EMPUJE
Y LOS PILARES EL 13%

3.2. ESFUERZOS DE FLEXIÓN EN LOS ELEM. VERTICALES:



NOTAS:

MASTER EN ESTRUCTURAS DE LOS
EDIFICIOS Y SU REHABILITACIÓN.
EUATM-UPM.



CURSO DE SAP2000:
UNIDAD 1. Introducción al programa y Generación
de modelos estructurales.

Sergio Rodríguez Morales
Arquitecto Técnico
SSTT FCC Construcción

**MUCHAS GRACIAS
POR VUESTRO TIEMPO.**

Profesor: Sergio Rodríguez Morales
Dpto. de Estructuras de Edificación de SSTT de FCC Construcción

Correo electrónico:
srodriguezmfcc.es

MASTER EN ESTRUCTURAS DE LOS
EDIFICIOS Y SU REHABILITACIÓN.
EUATM-UPM.



CURSO DE SAP2000:
UNIDAD 1. Introducción al programa y Generación
de modelos estructurales.

Sergio Rodríguez Morales
Arquitecto Técnico
SSTT FCC Construcción